



SAYI/ISSUE 27  
KASIM/NOVEMBER 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.



*Tarımsal Atıkların Yanmasının Emisyon Değerlendirmesi*

Zuhal AKYÜREK, Afşin GÜNGÖR

Sayfa: 1 - 5

*Gıda teknolojilerinde inovatif bir yaklaşım olarak "Bakteriyofajlar"*

Yağmur KÜÇÜKDUMAN, Rumeysa BAYRAK, Eda ESMER, Pervin BAŞARAN

Sayfa: 6 - 16

*Farklı Yıllarda Hasat Edilen Kenevir Tohumlarının Bazı Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi*

Zeynep DUMANOĞLU, Doç. Dr. Sıdıka EKREN, Gülsüm ÖZTÜRK, Adem GÖKÇÖL, Emre İLKER, Hakan GEREN

Sayfa: 17 - 21

*Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Tarihi Yapıların Analizi*

Filiz KARAKUŞ

Sayfa: 22 - 35

*Algal Ekstraktların Gıda Kaynaklı Patojenlere Karşı Antimikrobiyal Aktivitesi*

Meyrem VEHAPİ, Benan İNAN, Azime YILMAZ, Didem OZCİMEN

Sayfa: 36 - 43

*Tekstil İmalat Endüstrisinde İş Güvenliği Liderliği, İklimi ve Davranışı Arasındaki İlişkinin İncelenmesi*

Çağdaş ÇALIŞ, Banu Yeşim BÜYÜKAKINCI

Sayfa: 44 - 52

*Kümeleme Performansını Ölçmek için Yeni Bir Yöntem ve Metin Kümeleme için Değerlendirmesi*

Murat ASLANYÜREK, Altan MESUT

Sayfa: 53 - 65

*Koronavirüs hastalığını tespit etmek için CNN tabanlı bir hibrit model*

Ebru ERDEM, Tolga AYDİN

Sayfa: 66 - 73

*Aşırı Parlak X-Işın Kaynağı NGC 300 ULX1'deki Nötron Yıldızının Kütleli ve Manyetik Alanı Üzerine*

Mehmet Hakan ERKUT

Sayfa: 74 - 81

*Nano Titanyum Dioksit Eşliğinde Doğal Organik Maddenin Katalitik Ozonlanması*

Alper ALVER, Emine BAŞTÜRK

Sayfa: 82 - 88

*Orta Anadolu'da Yağmura Dayalı Koşullar Altında Bazı Yeni Tescilli Arpa Çeşitlerinin Tane Verimi ve Verim Stabilitelerinin Belirlenmesi*

Bekir AKTAŞ

Sayfa: 89 - 94

*Türkiye'de İnşaat Sektöründe Çalışan Mimar ve İnşaat Mühendislerinin Cam Tavan Algılarının Erillik/Dışillik Kültür Boyutu Açısından Belirlenmesi*

Hava YAŞBAY KOBAL, İlhami AY

Sayfa: 95 - 102

*Gıdayla İlişkili COVID-19 Riskiyle Mücadelede Etkili Gıda Güvenliği Uygulamaları, Gıda İşletmelerinin ve Gıda Çalışanlarının Rolü*

Seda OĞUR

Sayfa: 103 - 114

*Deep Neural Network, PID Algoritması ve Başkalaşım ile Hexarotor Boylamasına Uçuş Kontrolü*

Oguz KOSE, Tugrul OKTAY

Sayfa: 115 - 124

*Partikül Madde (PM10) Konsantrasyonunun Kentsel Yeşil Alan Sisteminin Değerlendirilmesinde Ekolojik İndikatör Olarak Kullanımı: İstanbul - Beşiktaş Örneği*

Ahmet BATUR, Gül Aslı AKSU

Sayfa: 125 - 134

*Pandeminin Kamusal Mekan Kullanımlarına Etkisi ve Güncel Mekansal Oluşumlar*

Gizem GÜVLÜ, Halime Nur YILMAZ

Sayfa: 135 - 144

*60Co Radyoaktif Nokta Kaynağı ile Uçucu Külün Gama Radyasyon Koruma Özellikleri*

Gökhan KÜLEKÇİ

Sayfa: 145 - 151

*Mor Şalgam (Brassica rapa L.) Kabuk Atıklarının Değerlendirilmesi: Ultrasonik Destekli Ekstraksiyon ile Polifenoliklerin Ekstraksiyonu ve in vitro Mide-Bağırsak Sindirim Sırasında Toplam Fenolik Madde, Toplam Monomerik Antosiyanin Miktarı ve Toplam Antioksidan Kapasitedeki Değişimin Araştırılması*

Aysun YÜCETEPE

Sayfa: 152 - 157

*Yüksek Fırın Cürufu ile Stabilize Edilmiş Killi Bir Zeminin Rijit Kaplama Kalınlığı ve Maliyetine Etkileri*

Tacettin GEÇKİL, Mehmet Mahmut TANYILDIZI, Ceren Beyza İNCE

Sayfa: 158 - 170

*Farklı Döşeme Tiplerine Sahip Betonarme Yapıların Sismik Davranışı*

Başak ZENGİN, Pınar USTA

Sayfa: 171 - 176

*PAMPSA Yüklenmiş Polianilin Kullanılarak Sulu Ortamdan Naproksen Giderimi*

Adem SARIHAN

Sayfa: 177 - 185

*Erzincan İlinde Bal Arısı (Apis mellifera L.) Kolonilerinde Tespit Edilen Deforme Kanat Virüslerinin Moleküler Karakterizasyonu*

Abdullah GÜLLER, Mustafa USTA, Gözdenur ÇAKAR, Zeynelabidin KURT

Sayfa: 186 - 192

*Pediyatrik Kardiyopulmoner Kalp Ameliyatlarında Pulsatil ve Pulsatil Olmayan Perfüzyonun Oksijenatör Fiberleri Üzerindeki Etkileri*

Taylan GAZİOĞLU, Mustafa KOCAKULAK, Fatma AYHAN, Hakan AYHAN

Sayfa: 193 - 203

*Ferrokrom Atıklarının Tehlikeli Altı Değerlikli Krom İçeriği Açısından İncelenmesi*

İlker ACAR

Sayfa: 204 - 209

*Yeraltı Suyu Kaynaklarına Yönelik Tehdit: Peyzaj Amaçlı Kullanılan İlgin Ağaçları*

Muhammed Ernur AKINER, Caslav LACNJEVAC

Sayfa: 210 - 220

*Elektrik Kabloları Terminal Çakım Kalitesini Belirlemede Kullanılan Yöntem ve Cihazlar*

Umut Emre UZUN, Turgut KARADEMİR, Nihat PAMUK, Nevzat ONAT

Sayfa: 221 - 227

*Hibrit Açıklanabilir Yapay Zeka Tasarımı ve LIME Uygulaması*

Ayça ÇAKMAK PEHLİVANLI, Rahmi Ahmet Selim DELİLOĞLU

Sayfa: 228 - 236

*Çevresel Etki Değerlendirmesi Uygulamalarında Enerji Sektörü Analizi*

Hakan CEYLAN

Sayfa: 237 - 242

*Tarımsal Faaliyetlerin Toprak ve Su Üzerindeki Etkisinin Değerlendirilmesi: Konya İli, Türkiye Örneği*

Nadire ÜÇLER

Sayfa: 243 - 250

*Bayes optimizasyon tabanlı SVM sınıflandırıcı ve ince-ayar tabanlı derin özelliklerinin kombinasyonu kullanılarak Beyin Tümörü Tespiti*

Muammer TÜRKOĞLU

Sayfa: 251 - 258

*Ardahan İli Tarımda Makine Kullanımı Projeksiyonu*

*Hasan ERTOP, Atılğan ATILGAN, Osman GÖKDOĞAN, Burak SALTUK*

*Sayfa: 259 - 266*

*Sağlık Sektöründe Yönetmelik Kaygıları*

*Mucize SARIHAN, Onur YARAR*

*Sayfa: 267 - 282*

*PLC ve SCADA Kontrol Yöntemleri ile Sıvı Dolum Otomasyonu*

*Hilmi Cenk BAYRAKCI, Hakan BÜYÜKPATPAT*

*Sayfa: 283 - 291*

*Blokzincirde Anonim ve Devredilemez Biyometrik Dijital Kimlik*

*Neyire Deniz SARIER*

*Sayfa: 292 - 302*

*Bir Demir Yatağında Radyal Temelli Fonksiyon ve Ortalamasız Krigleme Kestirimlerinin Karşılaştırılması*

*Firat ATALAY, Mehmet Suphi ÜNAL, Süleyman Yasin KILLIOĞLU*

*Sayfa: 303 - 310*

*İki Parçalı Ağlarda Bağlantı Tahmini için Çizge Gömme*

*Özge KART*

*Sayfa: 311 - 317*

*Döner Kanatlı İnsansız Hava Aracının Sistem Tasarımı ve Kontrolü*

*Tuğrul OKTAY, Enes ÖZEN*

*Sayfa: 318 - 324*

*Enerji Tasarufu Döner Mil Keçelerinin Sonlu Elemanlar Analizi ile İncelenmesi*

*Hasan KASIM, Barış ENGİN, İsmail SARAÇ, Murat YAZICI*

*Sayfa: 325 - 333*

*Kısmi Yük Koşullarında Dizel-Biyogaz Kullanılarak Çift Yakıtlı Dizel Motorun Enerji ve Ekserji Analizi*

*Raşit ATELGE*

*Sayfa: 334 - 346*

*Endüstri 5.0 (Toplum 5.0) ve Mimarlık*

*Elif Gizem YETKİN, Kemal COŞKUN*

*Sayfa: 347 - 353*

*Mikroakışkan Platformda Proteine Bağlı Üremik Toksin Adsorpsiyonunun Modellenmesi*

*Esra İLHAN AYIŞIĞI, Şeyma TIRAK, Aylin ÖZÜNLÜ, Ece YILDIZ ÖZTÜRK, Özlem YEŞİL ÇELİKTAŞ*

*Sayfa: 354 - 361*

*Ette Lipit Oksidasyonu ve Etkileyen Faktörler*

*Güleren SABUNCULAR, Gamze AKBULUT, Mustafa YAMAN*

*Sayfa: 362 - 369*

*Mobil Ağ Baz İstasyonlarının Değişim Noktalarının Uzun Dönem Sezonsallık Tespiti için Hibrid Bir Algoritma*

*Yakup KRANDA, Rüya ŞAMLI*

*Sayfa: 370 - 385*

*Derin Öğrenme Teknikleri Kullanarak Sosyal Ağlarda Marka Analizi*

*Fatma TAN, Erkan YÜKSEL*

*Sayfa: 386 - 391*

*Veri Merkezi Güvenliğinin Sağlanmasında IoT Sensörlerinin Kullanımı Üzerine Bir Uygulama*

*Fatih Çağatay BAZ, Kadir ULUDAĞ*

*Sayfa: 392 - 397*

*Türkiye Kara Alanlarındaki Petrol ve Doğalgaz Kuyularında Kullanılan Sondaj Akışkanı Katkı Maddeleri ve Miktarları*

*Ahmet GÜLLÜ, Adil ÖZDEMİR, Yıldırım PALABIYIK, Ergül YAŞAR*

*Sayfa: 398 - 406*

- Katı Atık Kullanımına Estetik Bir Çözüm Önerisi: Adıyaman İlindeki Mermer Atıklarından Antik Mozaik Üretimi**  
Yaprak TANRIVERDİ, Erhan AKÇA, Sabahattin EZER, Osman DOLAŞ, Hülya AK, Tanju TEKER  
Sayfa: 407 - 411
- Sağlık Hizmetlerinde Nesnelerin İnterneti Uygulamalarının Bibliyometrik Analizi**  
Gizem KÖSE, Mehmet Nurullah KURUTKAN  
Sayfa: 412 - 432
- Üniversite Öğrencilerinin Cep Telefonu Kullanımlarının Akademik Başarılarına Etkisi**  
Hüseyin ERIŞ, Suzan HAVLIOĞLU, Miyaser KAYA  
Sayfa: 433 - 438
- Ekolojik Ayak İzinin Azaltılmasına Yönelik Farkındalık Ölçeği Geçerlik Ve Güvenirlik Çalışması**  
Mustafa Agah TEKİNDAL, Gözde ZABZUN, Zeynep ÖZEL, Mert DEMİRSÖZ, Melike TEKİNDAL  
Sayfa: 439 - 445
- Hatay Yöresinde Yetişen *Thymbra spicata* L. (Zahter/Karabaş Kekikği) Bitkisinin Uçucu Yağ Oran ve Bileşenlerinin Belirlenmesi**  
Oğuzhan KOÇER  
Sayfa: 446 - 449
- Prolonged Kovaryant Türevi Kullanarak Weyl uzayındaki Bir Eğrinin Tip-1 Bishop Çatısına Göre Küresel Resimlerinin İncelenmesi**  
Nil KOFOĞLU  
Sayfa: 450 - 458
- Altınekin (Konya) Ekolojik Koşullarında Yetiştirilen Farklı Soya (*Glycine Max L.*) Çeşitlerinde Mikrobiyal Gübre Tohum Kaplamasının Verim ve Kalite Unsurlarına Etkisi**  
Nurgül KİTİR ŞEN  
Sayfa: 459 - 465
- Ekin Güvesi, *Syringopais tempratella* (Lepidoptera: Scythrididae)'nin Buğday'da Verim Komponentlerine Etkisi**  
Mehmet DUMAN  
Sayfa: 466 - 470
- Sonlu eleman hiperelastik modellerle karakterize edilen bir elastomerik mesnedin doğrulanması**  
Fatih ALEMDAR, Faisal AHMED  
Sayfa: 471 - 478
- Yol Kenarlarındaki Ağaçların Trafik Kaynaklı Karbon Aerosollerini Üzerindeki Etkisi**  
Muhammet AKTAŞ, Hüseyin ÖZDEMİR, Ali Osman ÇEKER, H. Kurtuluş ÖZCAN, Göksel DEMİR  
Sayfa: 479 - 488
- COVID-19 salgını yenilenebilir enerji sektörünü ve elektrik şebekesini nasıl etkiliyor?**  
Hasan Huseyin COBAN  
Sayfa: 489 - 494
- Sedde Altında Taşkın Kaynaklı Sızmanın Nümerik Modellenmesi**  
Aykut SEMERCİ, Gökmen TAYFUR, Hasan Fırat PULAT  
Sayfa: 495 - 507
- COVID-19'un Halk Sağlığı Açısından Yarattığı Rahatsızlıkların Çok Boyutlu Faktör Kümelerinin Tahmini**  
Adnan MAZMANOĞLU  
Sayfa: 508 - 517
- Fenobucarb ve Klorbensit Pestisitlerinin Atıksu ve Göl Suyu Örneklerinde Gaz Kromatografi-Kütle Spektrometresi ile Tayini**  
Dotse Selali CHORMEY  
Sayfa: 518 - 521
- Atratonun Sulama Kanalı Suyu ve Toprak Örneklerinde Gaz Kromatografisi Kütle Spektrometresi ile Tayini**  
Gülten ÇETİN  
Sayfa: 522 - 525

*Hoverwing Araçlarda Kaldırma Sistemi için Gövde Tasarımı ve Analizi*

Ömer Çağdaş ÇINKIR, Tugay ÖZTÜRK, Satılmış ÜRGÜN, Sinan FİDAN

Sayfa: 526 - 531

*Adölesanlarda Sağlık Okuryazarlığı ve Beslenme Okuryazarlığının Diyet Kalitesine Etkisi*

Münire KIRŞAN, Burcu Ateş ÖZCAN

Sayfa: 532 - 538

*Otonom Araçlar İçin Optimizasyon Tabanlı Yanal ve Doğrusal Yörünge Planlama*

İlhan MUTLU

Sayfa: 539 - 548

*Dalgıç ve Düşey Milli Derin Kuyu Pompalarında Bazı Pompaj Parametrelerinin Karşılaştırılması*

Nuri ORHAN, Mehmet KURT

Sayfa: 549 - 556

*Dünyada ve Türkiye'de "Döngüsel Ekonomi / Endüstriyel Sürdürülebilirlik" Yaklaşımı*

Şenay BALBAY, Adem SARIHAN, Edip AVŞAR

Sayfa: 557 - 569

*Aydın ve Denizli'deki Sıcak Su Kaynaklarından İzole Edilen Termofilik Bakterilerin Lipaz, Amilaz ve*

*Proteaz Aktivitelerinin Araştırılması*

Mehmet AYTAR, Bülent BOZDOĞAN, Gamze BAŞBÜLBÜL

Sayfa: 570 - 574

*Ön İşlemsiz ve Ön İşlemlili Kabak (Cucurbita Pepo L.) Dilimlerinin Tünel Tipi Güneşli Kurutucuda*

*Kurutma Özellikleri ve Matematiksel Modellemesi*

Sevil KARAASLAN, Kamil EKİNCİ, Barbaros KUMBUL

Sayfa: 575 - 582

*Mısır Tarımında Enerji Bilançosunun Belirlenmesi (Zea Mays L.)*

Yusuf DİLAY

Sayfa: 583 - 587

*Nanoyapılı iletken dolgulu polimer ile geniş bant çok katmanlı radar soğurucu malzemelerin geliştirilmesi*

Hasan KASIM

Sayfa: 588 - 597

*İleri Glikasyon Son Ürünlerinin (AGEs) Öncüllerinin in Vitro Biyoerişilebilirliklerinin Bazı Gıdalarda Belirlenmesi*

Mustafa YAMAN

Sayfa: 598 - 604

*Bazı Yeni 2,5-Disübstitüe Benzoksazol Türevlerinin Sentezi, Antimikrobiyal Aktivite, Moleküler Doking ve DFT Çalışmaları*

Meryem EROL, İsmail ÇELİK, Gülcan KUYUCUKLU

Sayfa: 605 - 614

*Enflasyon ve Faiz Oranı İlişkisi: Fisher Hipotezinin Türkiye İçin Geçerliliği*

Alper GEDİK

Sayfa: 615 - 624

*Kayıp Çekirdeği Yağından Kozmetik Sabun Üretimi*

Hilmi ERTEN

Sayfa: 625 - 628

*Derin Öğrenme Vasıtasıyla Masa Tenisi Topu Takibi*

Erman HAVUÇ, Şeyma ALPAK, Gözde ÇAKIREL, Mehmet Kadir BARAN

Sayfa: 629 - 635

*Metro Sistemlerinin Konut Satış Değerine Etkisinin Diğer Faktörler Yönünden Analizi*

Ali Onuralp ÜNAL, Prof.dr. Harun TANRIVERMİŞ, Yeşim ALİEFENDİOĞLU

Sayfa: 636 - 643

*Sayısal Sembollerde Anlık SNR Kestirimi*

Mete YILDIRIM

Sayfa: 644 - 648

- Yönetim Bilişim Sistemi Tasarımı Aşamasında İlişkisel Veri Modellemenin Önemi ve Kalitesi: İki Veri Modelinin Değerlendirmesi**  
Doğan YILDIZ  
Sayfa: 649 - 657
- Xamarin Çapraz-Platformu ile Gerçek Zamanlı Bulut Veri Tabanı İletişimi: Bütünleşik Akıllı Ev Sistemi**  
Ergin TOSUNOĞLU, Ahmet Berk USTUN  
Sayfa: 658 - 664
- Üleksit Minerali İçeren Dekoratif Cam Organik Kaplama Özelliklerinin Optimizasyonu ve İyileştirilmesi**  
Nil ACARALI, Rabia OKTAY  
Sayfa: 665 - 669
- Cüç Sistemlerinde Sistem Frekans Kayması Olduğu Durumlarda En Uygun Frekans Kestirici Seçimi**  
Kenan GENÇOL  
Sayfa: 670 - 675
- Kentsel Koruma Politikaları Kapsamında Isparta Tarihi Kent Merkezi Kimliğinin Sürdürülebilirliği**  
Eda ÇELİK, Ali TÜRK  
Sayfa: 676 - 685
- Sürdürülebilirlik için GİA ve AHP Yöntemleri ile Yeşil Tedarikçi Seçimi: Bir Otomotiv Ana Sanayi Uygulaması**  
Sedef KILINÇ, Betül YAĞMAHAN  
Sayfa: 686 - 698
- Blokzincir Teknolojisi Kapsamında Merkez Bankası Dijital Para Birimleri: Dijital Banka Hücumları ve Tasarım İlkeleri Üzerine Tartışma**  
Muhammet DOĞAN, Gökhan ÖVENÇ  
Sayfa: 699 - 709
- Enerji Verimliliği ve Tasarrufunda Tüketici Algı Yönetimi Yöntemlerinin Değerlendirilmesi**  
Tuba BENEK ARSLAN, Safak BAYKAL, Alper TERCİYANLI, Ertugrul CAM  
Sayfa: 710 - 717
- İyi Elektrokromik Performans Gösteren WO<sub>3</sub> Nanoplakaların Çekirdeklenmiş FTO Üzerine Yeni Sentezi**  
Sibel MORKOÇ KARADENİZ  
Sayfa: 718 - 722
- Kontaktörlerde Anahtarlama Sayısının Elektrik Ark Erozyonuna ve Kontaktör Yüzey Hasarlarına Etkileri**  
Mustafa Nuri SAV, Sinan FİDAN, Satılmış ÜRGÜN  
Sayfa: 722 - 734
- Strigolaktonlar; Bitkisel Hormonlar Sınıfının Yeni Üyesi**  
Semra ARIKAN, Şengül KARAMAN  
Sayfa: 735 - 746
- Aprondaki Uçak Bakımının İş Sağlığı ve Güvenliği Açısından Genel Olarak İncelenmesi**  
Mukadder İÇDİ-ŞEN  
Sayfa: 747 - 754
- Herniaria glabra L. Bitkisinin Biyolojik Aktivitesinin Belirlenmesi**  
Şebnem ÜZMEZ, Serpil UĞRAŞ  
Sayfa: 755 - 760
- Karaman İlinin Tarımsal Mekanizasyon Özellikleri**  
Yusuf DİLAY, Adem ÖZKAN  
Sayfa: 761 - 767
- Spirulina platensis Protein Ekstraktları ile Zenginleştirilmiş Buğday Unundan Üretilen Hamurun Reolojik ve Teknofonksiyonel Özelliklerinin Araştırılması**  
Meltem YILMAZ, Aysun YÜCETEPE  
Sayfa: 768 - 775



Climate Change: A Bibliometric Review

Ebru BAKAÇ

Sayfa: 776 - 783

Bebek Ağlamalarının Makine Öğrenmesi Yöntemleriyle Sınıflandırılması

Bengisu Şeyda KOP, Levent BAYINDIR

Sayfa: 784 - 791

Kötücül Web Sayfalarının Tespitinde Doc2Vec Modeli ve Makine Öğrenmesi Yaklaşımı

Recep Sinan ARSLAN

Sayfa: 792 - 801

Eriyik Yığma Modellemesi Eklemeli İmalat ile Üretilen PLA ve ABS Esaslı Yapıların Mekanik

Özelliklerinin Karşılaştırılması

Koray ÖZSOY, Ali ERÇETİN, Zihni Alp ÇEVİK

Sayfa: 802 - 809

Üniversite Yerleşkelerinin Sürdürülebilirliği; BŞEÜ Örneği, Bilecik/Türkiye

Hilal KAHVECİ

Sayfa: 810 - 817

Endometrium Kanseri Radyoterapisinde Alan Dışı Meme Dozlarının TLD İle Dozimetrik Olarak İncelenmesi

Gökçen İNAN, Osman Vefa GÜL, Hamit BAŞARAN

Sayfa: 818 - 822

ABD Konteyner Limanlarının Toplam Faktör Verimliliklerinin Karşılaştırılması

Erdinc KOC, Beste DESTİCİOĞLU, Ahmed İhsan ŞİMŞEK

Sayfa: 823 - 831

Plastik Enjeksiyon Kalıplama Yöntemi ile Polipropilen Kullanarak Üretim Sürecinin Analizi

Mustafa TİMUR, Halil KILIÇ

Sayfa: 832 - 836

Radyoterapide kullanılan baş yastığının dozimetrik etkisinin farklı algoritmalarla incelenmesi

Taylan TUĞRUL

Sayfa: 837 - 841

CRITIC ve MAUT Yöntemleri ile Bir Tekstil İşletmesi İçin Makine Seçimi

Engin KARAKIŞ

Sayfa: 842 - 848

Çölyak Hastalarına Özel Glutensiz Kek Formülasyonlarının Farklı Tip ve Miktarda Glutensiz Un Kullanılarak Optimizasyonu

Halime PEHLİVANOĞLU, Mehmet DEMİRCİ, Ervanur KARASU, Esranur YAŞA, Kübra GÖKDUMAN, Hamide Feyza BARDAKÇI

Sayfa: 849 - 857

Mock-Chebyshev Polinom İnterpolasyonu

B. Ali İBRAHİMOĞLU

Sayfa: 858 - 865

Cr Modifiyeli Cu-Ni-Si Alaşımlarının Mekanik ve Elektriksel Özellikleri Üzerine Aşırı Plastik Deformasyon Etkisi

Çağatay ELİBOL

Sayfa: 866 - 872

Yapay Sinir Ağı Yaklaşımlarının Yeraltı Suyundaki Nitrat Konsantrasyonunu Tahmin Etme Performansı

Asli COBAN

Sayfa: 873 - 879

Duygu Analizi İçin Veri Madenciliği Sınıflandırma Algoritmalarının Karşılaştırılması

Esra ÇELİK, Deniz DAL, Tolga AYDIN

Sayfa: 880 - 889

Bandırma'da Tavuk Çiftliklerinin Dış Duvarları İçin Optimum Yalıtım Kalınlığının Araştırılması

Asiye ASLAN

Sayfa: 890 - 897

- 
- Rastgele Alanlı Sonlu Elemanlar Analizi (RFEM) Kullanılarak Mafsallı Birleşimli Bir Ahşap Kafesin Güvenirliğe Dayalı Analizi*  
Gökhan YAZICI, Ahmet Can MERT  
Sayfa: 898 - 901
- Besin Alerjileri ve Mikrobiyota*  
Jale ÇATAK, Ayşenur DEMİRCİ, Mustafa YAMAN  
Sayfa: 902 - 910
- Tarihi Çevrede Sürdürülebilir Enerji Yönetimi: Sivrihisar Güneş Enerjili Su Isıtma Sistemleri Örneği*  
Hicran Hanım HALAÇ, Veli ÖÇÜLMÜŞ  
Sayfa: 911 - 920
- Yabancılara Türkçe Öğretiminde Geleneksel ve Teknoloji Temelli Yaklaşımların Değerlendirilmesi*  
Emre ÇALIŞKAN  
Sayfa: 921 - 924
- Bitki örtüsü-rüzgâr erozyonu ilişkileri: Bir durum çalışması*  
Mücahit KARAOĞLU, Erhan ERDEL  
Sayfa: 925 - 934
- Kriz Durumlarında Kaynak Yönetimi*  
 Mete GÜNDOĞAN, Murat ATA  
 Sayfa: 935 - 941
- Fay Kayası Mineralojisinde Deformasyonun Rolü*  
Ayşe Didem KILIÇ, Tuğçe KARACA  
Sayfa: 942 - 949
- Tarihi endüstri yapıların korunmasında doğal taşın değiştirilmesi için bir değerlendirme modeli: Kayseri Sümerbank Bez Fabrikası-Türkiye örneği*  
 Mehmet Cemal ACAR  
 Sayfa: 950 - 960
- Almanya'dan Konaklama Amacıyla Türkiye'ye Gelen Turist Sayısının Yapay Zekâ Teknikleri Kullanılarak Tahmin Edilmesi*  
 Hande ERDOĞAN, Mustafa TERZİOĞLU, Mehmet KAYAKUŞ  
 Sayfa: 961 - 971
- Optimization of a Reverse-Phase High Performance Liquid Chromatography (RP-HPLC) Method for Simultaneous Separation of Aloe-Emodin, Rhein, Emodin, Chrysophanol and Physcion*  
 Gizem YILDIRIM BAŞTEMUR, Reyhan AKPINAR, Sabriye PERÇİN ÖZKORUCUKLU, Esengül KIR  
 Sayfa: 972 - 984
- Genetik Algoritma İle Öznitelik Seçimi Yapılarak Yazılım Projelerinin Maliyet Tahmini*  
 Şükran EBREN KARA, Rüya ŞAMLI  
 Sayfa: 985 - 994
- Tahtaköprü Baraj Havzasında Sediment Verim Analizi*  
 Şerife Pınar GÜVEL, Mehmet Ali AKGÜL, Hakan AKSU  
 Sayfa: 995 - 1002
- Endoreversible Performance Analysis of a modified dual cycle and comparison with the classical engine cycles*  
 Hüseyin ŞAHİN, Güven GONCA  
 Sayfa: 1003 - 1009
- Deterjan Esaslı Hücresizleştirilen Tavuk Derisinin Doku İskelesi Olarak Karakterizasyonu*  
 İlyas İNCİ  
 Sayfa: 1010 - 1017
- İstanbul Büyükşehir Belediye Sınırlarında Kalan Kırsal Alanların Tarımsal Durumunun İncelenmesi*  
 Merve BİRİNCİ, Leyla SURI  
 Sayfa: 1018 - 1031
- Huzurevinde Yaşayan 65 Yaş Üstü Yaşlılarda Ölüm Kaygısının İncelenmesi*  
 Leman KUTLU, Gülcan KENDİRKIRAN, Pınar ŞEKO  
 Sayfa: 1032 - 1037

# İÇİNDEKİLER / TABLE OF CONTENTS

- Denetleyici Alan Ağının Güvenliğinin Sağlanması İçin Derin Öğrenme Tabanlı Saldırı Tespit Sistemleri Üzerine Bir Derleme  
Zinnet Duygu AKŞEHİR, Sedat AKLEYLEK  
Sayfa: 1038 - 1049
- Duygu Analizi İçin Yeni Bir Sözlük; NAYALex Duygu Sözlüğü  
Yakup ATLI, Nagehan İLHAN  
Sayfa: 1050 - 1060
- Sürdürülebilir Kırsal Kalkınma Uygulaması Örneği: Yukarı Avusturya, Ottenschlag Köyü ve Mooswiesen Biyolojik Göleti Peyzaj Planlama Projesi  
Gül Aslı AKSU  
Sayfa: 1061 - 1072
- Nanoakışkan Kullanımında Ani Daralma ve Ani Genişleme Bağlantı Elemanlarının Akış Karakteristiklerinin Sayısal Olarak İncelenmesi  
Nehir TOKGÖZ, Mürüvvet Avcı AVCI, Mehmet Tahir ERDİNÇ, Önder KAŞKA  
Sayfa: 1073 - 1086
- Sucul Bitki Lemna minor L. Üzerinde Fito-Sentezlenmiş Gümüş Nanopartikül Toksikitesi Etkisi  
Zeynep İnci KOÇER, Melisa AYIŞIĞI, Selin HASEKİ, Lale AKTAŞ  
Sayfa: 1087 - 1094
- QCM Temelli Homosistein Nanobiyosensörünün Gerçek Zamanlı Tayin Sisteminde Optimizasyonu  
Fatma AYHAN  
Sayfa: 1095 - 1104
- Gentamisin Konjuge Selüloz Nanokristallerinin Hazırlanması ve Farklı Mikroorganizmalar Üzerindeki Etkinliğinin Değerlendirilmesi  
Aydan GÜLSU, Ecem YÜKSEKTEPE  
Sayfa: 1105 - 1112
- Sinüs Kosinüs Algoritması ile Çok Katmanlı Algılayıcı Eğitimi  
M. Evren KIYMAÇ, Yasin KAYA  
Sayfa: 1113 - 1117
- Tıbbi ve Aromatik Bitkiler Vadisi Tasarımı: Şanlıurfa Örneği  
Hülya ÖZTÜRK TEL  
Sayfa: 1118 - 1131



## Emission Assessment of Agro-Waste Combustion

Zuhal Akyürek<sup>1\*</sup>, Afşin Güngör<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Burdur Mehmet Akif Ersoy University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Energy Systems Engineering, Burdur, Turkey, (ORCID: 0000-0003-3102-4278), [drzuhalakyurek@gmail.com](mailto:drzuhalakyurek@gmail.com)

<sup>2</sup> Akdeniz University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, Antalya, Turkey, (ORCID: 0000-0002-4245-7741), [afsingungor@hotmail.com](mailto:afsingungor@hotmail.com)

(First received 22 April 2021 and in final form 24 July 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.926468)

**ATIF/REFERENCE:** Akyürek, Z., Güngör, A. (2021). Emission Assessment of Agro-Waste Combustion. *European Journal of Science and Technology*, (27), 1-5.

### Abstract

Biomass can be used to meet energy needs for electricity generation, residential and commercial buildings' heating, industrial process heating, transportation, etc. Future of bioenergy sector depends on the availability of biomass resources and development in conversion technologies. Fluidized bed combustion is a favorable technology for biomass combustion due its fuel flexible feature and enhanced combustion efficiency. In this study, the atmospheric emissions from fluidized bed combustion of agricultural residues such as wheat straw, corn stalk, rice husk, almond shell, walnut shell and sugarcane bagasse were estimated for 1 MW thermal energy production by using a mathematical combustion model. CO<sub>2</sub> emissions from biomass can be regarded as zero due to the carbon neutral nature of biomass. Almond shell and sugarcane bagasse has shown the lowest SO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub> emissions. Sugarcane bagasse has shown lower corrosion risk compared to the biomass types examined in this study. Performance and operation of biomass combustion can be enhanced by addition of limestone and additives for sulfur capturing and reducing the risk for ash related problems, respectively.

**Keywords:** Agricultural residues, fluidized bed, combustion, emission, environment.

## Tarımsal Atıkların Yanmasının Emisyon Değerlendirmesi

### Öz

Biyokütle, elektrik üretimi, konut ve ticari binaların ısıtılması, endüstriyel proses ısıtması, ulaşım vb. gibi enerji ihtiyaçlarını karşılamak için kullanılabilir. Biyoenerji sektörünün geleceği, biyokütle kaynaklarının mevcudiyetine ve dönüştürme teknolojilerindeki gelişmeye bağlıdır. Akışkan yatakta yanma, yakıt esnek özelliği ve artırılmış yanma verimliliği nedeniyle biyokütle yanması için uygun bir teknolojidir. Bu çalışmada, buğday samanı, mısır sapı, pirinç kabuğu, badem kabuğu, ceviz kabuğu ve şeker kamışı küspesi gibi tarımsal atıkların akışkan yatakta yakılmasından kaynaklanan atmosferik emisyonlar, matematiksel bir yanma modeli kullanılarak 1 MW termal enerji üretimi için değerlendirilmiştir. Biyokütlenin karbon nötr doğası nedeniyle biyokütleden CO<sub>2</sub> emisyonları sıfır olarak kabul edilebilir. Badem kabuğu ve şeker kamışı küspesi en düşük SO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> emisyonlarını göstermiştir. Şeker kamışı küspesi, bu çalışmada incelenen biyokütle türlerine kıyasla daha düşük korozyon riski göstermiştir. Biyokütle yanmasının performansı ve işleyişi, sırasıyla kireçtaşı eklenerek kükürtün tutulması ve katkı maddeleri eklenerek külle ilgili sorunların riskinin azaltılması ile artırılabilir.

**Anahtar Kelimeler:** Tarımsal Atık, akışkan yatak, yanma, emisyon, çevre.

\* Corresponding Author: [drzuhalakyurek@gmail.com](mailto:drzuhalakyurek@gmail.com)

## 1. Introduction

Increasing environmental concerns related with the utilization of fossil fuels for energy generation and continuous increase in global energy demand led to utilization of renewable sources. Biomass is the only carbon based renewable energy source to cope with climate change. Biomass usage in large-scale operations could help sustainable energy generation and energy security of nations. Biomass fuels have several advantages over fossil fuels as a renewable source of energy production with net zero greenhouse gas (GHG) emissions (Hoogwijk et al., 2003; Faaij, 2004; Nukman and Spahutar, 2015).

The residues and wastes from agricultural and forestry activities and industrial sectors, energy crops, livestock wastes, domestic wastes can be used as biomass feedstock (McKendry, 2002a). Biomass can be converted into energy and other forms of fuel through thermo-chemical (combustion, gasification, pyrolysis, liquefaction), biochemical (anaerobic digestion, fermentation) and physico-chemical (esterification) conversion technologies (Mesa et al., 2010).

Biomass could play significant role in renewable energy production with its high potential in the production of biofuels for electricity, heat and transportation. Selecting the most suitable technology for bio-waste processing can be carried out considering the efficiency and economy of technology. Among the alternatives, combustion is generally the most preferred technology for biomass processing for energy that 90% of the total renewable energy is obtained from biomass through combustion (Tursi, 2019). During combustion, biomass reacts with oxygen to produce carbon dioxide, water vapor and heat. The amount of the heat produced depends on the characteristics of biomass (moisture content, volatile matter content, ash composition, particle size, particle density, etc.), treatment technology and process parameters (Gogebakan, 2007). Biomass differs from conventional fossil fuels. Moisture content is one of the main parameters for choosing the combustion technology for biomass utilization. Combustion of biomass is regarded as feasible with a moisture content less than 50%. High moisture content biomass is more applicable to biological conversion processes (McKendry, 2002b).

Biomass combustion is carried out in high temperature combustion chambers operating at around 800-1000 °C (Figure 1). Biomass combustion plants, which burn woody residues generally are able to generate 20-50 MW to 50-80 MW or much more electrical energy depending on the choice of technology (Tursi, 2019; McKendry, 2002b). Table 1 shows samples of the largest biomass energy plants in the World (Power Technology, 2014). In comparison with conventional combustion technologies, fluidized-bed combustion (FBC) is one of the most suitable and advanced technologies for energy recovery from biomass due to its fuel flexible feature which provides handling various types of fuels, low operating temperatures, low SO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub> emissions (Arvelakis et al., 2001).

The objective of this study is to develop a combustion model capable of predicting the steady-state performance of a 1 MWth atmospheric fluidized bed burning biomass. The model is used to determine the stack gas compositions of selected agricultural residues; wheat straw, corn stalk, rice husk, almond shell, walnut shell and sugarcane bagasse.

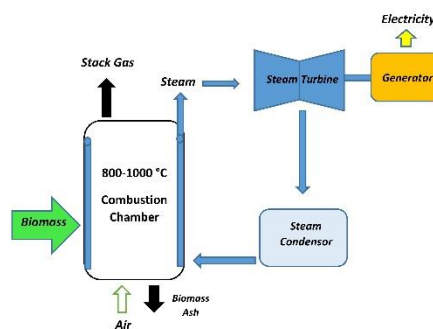
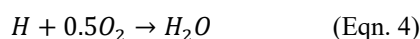


Figure 1 Biomass utilization in combustion chambers.

## 2. Material and Method

Mathematical modeling of biomass combustion could improve both the design and operation, reduce associated problems and facilitate the implementation of fluidized bed technology. The current model assumes isothermal operation and occurrence of chemical equilibrium. Five chemical species, O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> are considered in the model. Uniform release of volatiles in the combustor are assumed. MATLAB program is used to elucidate the combustion mechanisms and calculate the stack gas emission.

The combustion reactions used in the program are given as follows:



Feeding rate of biomass (kg/h), biomass characteristic properties (proximate analysis, elemental analysis), excess air coefficient (1.2), Fuel nitrogen to NO conversion (5 %), ash split to fly ash (70 %) are taken as the input parameters for the model. 100 % carbon conversion efficiency is assumed in the model. The stack gas compositions are calculated under certain operating conditions. The characterization of biomass used in this study is presented in Table 2.

## 3. Results and Discussion

Fluidized bed combustion is a proven technology for the conversion of agricultural residues to energy offering several economic and environmental benefits. This study aims to predict the stack gas emissions from 1 MWth bubbling fluidized bed combustor burning different types of biomass without limestone addition via a mathematical model. Gaseous emissions predicted by the model at the exit of the combustor for biomass under consideration are presented in Figure 2 and Figure 3. As can be seen from the figures, similar oxygen and water vapor concentrations were obtained for all biomass fuels and 70 % of the stack gas concentration is composed of N<sub>2</sub>.

CO<sub>2</sub> emission assessment has carried out in order to evaluate the impact of biomass in terms of global warming. As can be seen from the figure, similar CO<sub>2</sub> emission values were obtained for all biomass. Due to the CO<sub>2</sub> neutral feature of biomass fuels, their

impact on global warming can be considered as negligible (Akyürek, 2019, 2021).

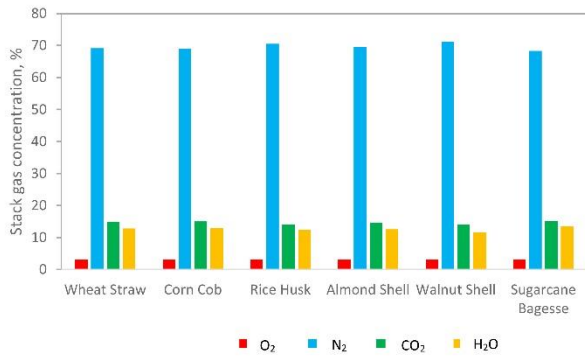


Figure 2 Model results for O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O concentrations in stack gas, mol %.

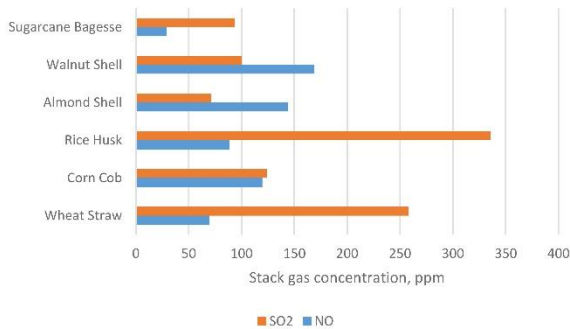


Figure 3 Model results for NO and SO<sub>2</sub> concentrations in stack gas, ppm

Walnut shell has shown the highest NO concentration, 169 ppm, followed by almond shell, corn cob, rice husk, wheat straw and sugarcane bagasse in correspondence with the nitrogen contents of the feedstock. Highest sulfur dioxide concentration was determined for rice husk due to higher sulfur content of the feedstock, as 334 ppm followed by wheat straw, walnut shell, sugarcane bagasse and almond shell.

Emission limitations of air pollutants from the combustion of fuels in plants with a rated thermal input equal to or greater than 1 Megawatt thermal (MWth) and less than 50 MWth are regulated by Directive (EU) 2015/2193 “the Medium Combustion Plant Directive (MCPD)”.

Table 3 presents the simulation results of NO, SO<sub>2</sub> and dust emissions in comparison with the EU directive. The model results revealed that all the biomass focused in this study have lower NO<sub>x</sub> and dust emission potential than the limited values. In the case of SO<sub>2</sub> emission, all the biomass has shown to exceed the limit. These results revealed the need for limestone addition to reduce the SO<sub>2</sub> emission in order to fulfill the emission requirements.

Biomass ash, which is transformed into inorganic matter can stay in the boiler or can release to the environment in fly ash through the stack. Ash split to the bottom ash and fly ash generally depends on biomass characteristics and operating conditions. In the current model, 70 % ash split to fly ash is assumed for biomass under consideration, respectively. During biomass combustion, ash split to fly ash can be much greater (80-90 %) in relation with the low bulk density of biomass tends to elutriate from fluidized bed boiler system (Gogebakan, 2007). Fly ash in the flue gas is generally collected through filters in order to reduce particulate emissions to the atmosphere from the stack. In this study, 99 % of the fly ash is assumed to be captured. The fly ash flow rates of biomass are given in Table 4. Storage and recovery of the biomass ash is also significant due to their potential use in cement sector as additives (James et al., 2012).

Chlorine content in the feed biomass may result in problems in operation, which may lead to corrosion in the heat exchange surfaces in the boilers. Corrosion index, sulfur to chlorine ratio, can be used as an indicator of corrosiveness of the biofuels. Figure 4 shows the corrosion tendency of the biomass. Chlorine content of the fuel greater than 0.1 % is indicative of corrosion risk on heat transfer surfaces (Niu et al, 2016). When S/Cl ratio lower than 2, there occurs corrosion risk. If the S/Cl ratio is greater than 4, then the biomass can be regarded as non-corrosive for fluidized bed combustion applications (Dayton et al., 1999; Vamvuka et al. 2008), All the bio-fuels under consideration has shown to have corrosion risk during their combustion.

Table 1 Largest biomass energy power plants in the world.

Power Plant	Fuel	Energy Generation capacity	Country
Ironbridge	Wood pellets	740 MW	United Kingdom
Alholmens Kraft	Pulp, paper, timber	265 MW	Finland
Kymijärvi II	Plastic, paper, cardboard and wood	160 MW	Finland
Vaasa Bio-gasification plant	Forest residue	140 MW	Finland
Wisapower	Black liquor	140 MW	Finland
New Hope Power Partnership,	Sugar cane bagasse, recycled wood	140 MW	US
Kaukaan Voima, Seinäjoki	Wood, peat	125 MW	Finland
	Woodchips, peat	125 MW	Finland

Table 2 Analysis of biomass

Biomass	Wheat straw (Arvelakis, et al., 2001)	Corn cob (Rozainee, 2010; Ibeto et al., 2016)	Rice husk (Tsai, et al., 2007)	Almond shell (Safari et al., 2018)	Walnut shell (Saidur et al., 2011)	Sugarcane bagasse (Levendis et al., 2011)
<b>Proximate Analysis (as received basis, wt. %)</b>						
Moisture	7.75	5.27	6.37	3.29	2.32	4.40
Ash	5.74	0.21	11.70	3.16	2.56	4.00
Volatile Matter	72.05	78.87	69.84	73.00	60.71	83.90
Fixed Carbon	14.46	15.65	12.09	19.86	39.82	7.70
<b>Ultimate Analysis (dry basis, wt. %)</b>						
C	46.95	48.00	48.36	47.88	53.60	44.30
H	5.36	5.79	5.88	6.00	6.60	5.70
N	0.51	0.89	0.72	1.10	1.50	0.20
O	36.69	44.80	32.03	41.70	35.50	45.49
S	0.22	0.11	0.31	0.06	0.10	0.07
Cl	1.05	0.20	0.20	0.10	0.20	0.04
<b>LHV, MJ/kg</b>	17.23	15.40	11.97	16.90	16.80	15.40

Table 3 Emission limits set by EU Directive for Medium Combustion Plant and the calculated emission values for biomass

Emission	SO <sub>2</sub> , mg/Nm <sup>3</sup>	NO <sub>x</sub> , mg/Nm <sup>3</sup>	Dust, mg/Nm <sup>3</sup>
<b>EU Directive Limit</b>	200, 300*	650	50
<b>Biomass</b>			
Wheat straw	737	93	8.72
Corn cob	365	160	0.33
Rice husk	959	119	15.86
Almond shell	204	193	4.41
Walnut shell	287	226	2.99
Sugarcane bagasse	267	39	6.36

\* 300 mg/Nm<sup>3</sup> in the case of plants firing straw.

Table 4 Simulation results for bottom ash and fly ash flow rates

Biomass	Bottom Ash, kg/h	Fly ash, kg/h
Wheat straw	2.88	6.72
Corn cob	0.16	0.38
Rice husk	10.84	25.30
Almond shell	2.07	4.84
Walnut shell	1.69	3.94
Sugarcane bagasse	2.88	6.72

Wheat straw has the highest chlorine content and its combustion in fluidized bed has generally carried out with additives during large-scale operations in order to reduce the corrosion of boilers heat exchange surfaces. Sugarcane bagasse has shown the lowest corrosion risk among the biomass under consideration.

#### 4. Conclusions and Recommendations

Fossil fuel combustion is the most conventional route of energy production all around the world. In the last decades, population growth and technological improvements have exploited the fossil fuel consumption and hence anthropogenic emissions, which provoke the need for alternative clean energy sources.

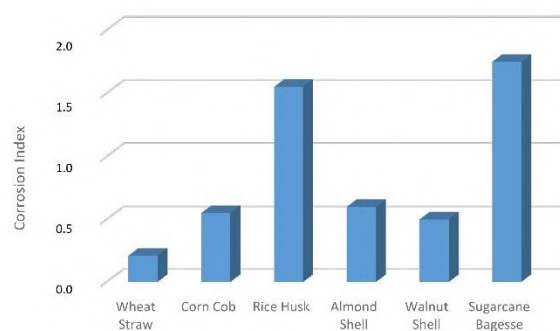


Figure 4 Corrosion risk in biofuels

Biomass is the most promising energy source due to its carbon dioxide neutral nature. However, due to its structure, its thermal degradation is complicated. Fluidized bed combustion is the most suitable conversion technology for complex structured fuels such as biomass. Estimation of emissions from biomass combustion is challenging because the emission factors are highly depend on the biomass characteristics and operating conditions. This work has analyzed the biomass combustion and emission performance in a 1 MWth fluidized bed combustor through a developed combustion model. The simulation results revealed that emission from biomass combustion is dependent on biomass characteristics and operational conditions. In order to be in the emission limits set by the European Union, biomass combustion should be carried out with limestone addition for sulfur retention. Using additives for mitigating the possible ash related operational problems could also ease the process of energy production from biomass.

## 5. Acknowledge

This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

## References

- Akyürek Z (2021) Synergetic Effects during Co-Pyrolysis of Sheep Manure and Recycled Polyethylene Terephthalate. *Polymers* 13(14): 2363. <https://doi.org/10.3390/polym13142363>
- Akyürek Z (2019) Sustainable Valorization of Animal Manure and Recycled Polyester: Co-pyrolysis Synergy. *Sustainability* 11(8): 2280. <https://doi.org/10.3390/su11082280>
- Arvelakis S, Vourliotis P, Kakaras E, Koukiosa EG (2001) Effect of leaching on the ash behavior of wheat straw and olive residue during fluidized bed combustion. *Biomass and Bioenergy* 20(6): 459-470. [https://doi.org/10.1016/S0961-9534\(01\)00003-4](https://doi.org/10.1016/S0961-9534(01)00003-4)
- Dayton DC, Jenkins BM, Turn SQ, Bakker RR, Williams RB, Belle-Oudry D, Hill LM (1999) Release of inorganic constituents from leached biomass during thermal conversion. *Energy and Fuels* 13: 860. <https://doi.org/10.1021/ef980256e>
- EU- The Medium Combustion Plant Directive Directive (EU) 2015/2193 of The European Parliament and of The Council, 25 November 2015. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32015L2193&from=E>
- Faaij APC (2004) Biomass combustion. *Encyclopedia of Energy* 1: 175-191.
- Gogebakan Z (2007) Co-firing Biomass with Coal in Bubbling Fluidized Bed Combustors, PhD Thesis, Middle East Technical University.
- Hoogwijk MM, Faaij APC, van den Broek R, Berndes G, Gielen D, Turkenburg DC (2003) Exploration of the ranges of the global potential of biomass for energy. *Biomass and Bioenergy* 25(2): 119-133. [https://doi.org/10.1016/S0961-9534\(02\)00191-5](https://doi.org/10.1016/S0961-9534(02)00191-5)
- Ibeto CN, Ayodele JA, Anyanwu CN (2016) Evaluation of Pollution Potentials and Fuel Properties of Nigerian SubBituminous Coal and its blends with Biomass. *J. Mater. Environ. Sci.* 7 (8): 2929-2937.
- James AK, Thring RW, Helle H, Ghuman HS (2012) Ash Management Review—Applications of Biomass Bottom Ash. *Energies* 5: 3856-3873; <https://doi.org/10.3390/en510385>
- Levendis YA, Joshi K, Khatami R, Sarofim AF (2011) Combustion behavior in air of single particles from three different coal ranks and from sugarcane bagasse. *Combustion and Flame* 158: 452–465. <https://doi.org/10.1016/j.combustflame.2010.09.007>
- McKendry P (2002a) Energy production from biomass (part 1): overview of biomass. *Bioresource Technology* 83: 37-46. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(01\)00118-3](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(01)00118-3)
- McKendry P (2002b) Energy production from biomass (part 2): conversion technologies. *Bioresource Technology* 83: 47-54. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(01\)00119-5](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(01)00119-5)
- Mesa L, González E, Ruiz E, Romero I, Cara C, Felissia F, Castro E (2010) Preliminary evaluation of organosolv pre-treatment of sugar cane bagasse for glucose production: Application of 23 experimental design. *Applied Energy* 87: 109-114. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.07.016>
- Niu Y, Tan H, Hui S (2016) Ash-related issues during biomass combustion: Alkali-induced slagging, silicate melt-induced slagging (ash fusion), agglomeration, corrosion, ash utilization, and related countermeasures. *Progress in Energy and Combustion Science* 52: 1-61. <https://doi.org/10.1016/j.peccs.2015.09.003>
- Nukman, Spahutar R (2015) The Potential of Biomass from Wood, Leaves, and Grass as Renewable Energy Sources in South Sumatera, Indonesia. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects* 37: 2710-2715. <https://doi.org/10.1080/15567036.2012.738286>
- Rozainee M, Ngo SP, Salema AA, Tan, KG (2010) Computational fluid dynamics modeling of rice husk combustion in a fluidized bed combustor. *Powder Technology* 203: 331–347. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2010.05.026>
- Safari F, Javani N, Yumurtaci Z (2018) Hydrogen production via supercritical water gasification of almond shell over algal and agricultural hydrochars as catalysts. *International Journal of Hydrogen Energy* 43: 1071-1080. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2017.05.102>
- Saidur R, Abdelaziz EA, Demirbas A, Hossaina MS, Mekhilef S (2011) A review on biomass as a fuel for boilers, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15: 2262–2289. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.02.015>.
- The World Biggest Biomass Power Plants; <https://www.power-technology.com/features/featurepower-from-waste-the-worlds-biggest-biomass-power-plants-4205990/>
- Tsai WT, Lee MK, Chang YM (2007) Fast pyrolysis of rice husk: Product yields and compositions. *Bioresource Technology* 98: 22-28. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2005.12.005>
- Tursi A (2019) A review on biomass: importance, chemistry, classification, and conversion. *Biofuel Research Journal* 22: 962-979. <https://doi.org/10.18331/BRJ2019.6.2.3>
- Vamvuka D, Zografos D, Alevizos G (2008) Control methods for mitigating biomass ash-related problems in fluidized beds. *Bioresource Technology* 99: 3334-3344. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.07.049>





# Gıda Teknolojilerinde İnovatif Bir Yaklaşım Olarak “Bakteriyofajlar”

Yağmur Küçükdoğan<sup>1\*</sup>, Rumeysa Bayrak<sup>2</sup>, Eda Esmer<sup>3</sup>, Pervin Başaran<sup>4</sup>

<sup>1\*</sup> Yeditepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-9871-0534), [yagmur.kucukdogan@yeditepe.edu.tr](mailto:yagmur.kucukdogan@yeditepe.edu.tr)

<sup>2</sup> İstanbul Teknik Üniversitesi, Kimya ve Metalurji Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-8754-1250), [bayrak19@itu.edu.tr](mailto:bayrak19@itu.edu.tr)

<sup>3</sup> İstanbul Teknik Üniversitesi, Kimya ve Metalurji Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-1848-5766), [esmer@itu.edu.tr](mailto:esmer@itu.edu.tr)

<sup>4</sup> İstanbul Teknik Üniversitesi, Kimya ve Metalurji Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-9969-6196), [basaranakocakp@itu.edu.tr](mailto:basaranakocakp@itu.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 4 Aralık 2020 ve Kabul Tarihi 24 Temmuz 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.832904)

**ATIF/REFERENCE:** Küçükdoğan, Y., Bayrak, R., Esmer, E. & Başaran, P. (2021). Gıda Teknolojilerinde İnovatif Bir Yaklaşım Olarak “Bakteriyofajlar”. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (27), 6-16.

## Öz

Gıda üretim zincirinde kontamine olmuş gıdalardaki patojenik mikroorganizmaların antibiyotiklere direnç göstermeye başlaması, Avrupa’da ve ABD’de hayvan beslemede antibiyotik kullanımına yasal sınırlamaların getirilmesi ve bunun yanı sıra tüketicilerin de kimyasal kontaminasyon içermeyen ürün talepleri doğrultusunda gıdaların patojenlerden arındırılmasında alternatif kontrol yöntemlerine gereksinim duyulmaktadır. Son yıllarda canlı mikrobiyal hücreleri enfekte eden virüsler olarak tanımlanan fajlar, tarım ve gıda sektöründe farklı amaçlarla ticarileştirilmeye başlanmıştır. Gıdalarda patojenlerin yok edilmesinde genel olarak “çiftlikten sofraya” kadar tüm gıda zinciri aşamalarında uygulanabilmektedir. Bakteriyofajlar, özellikle gıda endüstrisinde ekipman ve temas yüzeylerinin dezenfeksiyonu (biyosanitasyon), kolay bozulabilir gıdalarda doğal koruyucu olarak kullanılarak, ürünün raf ömrünün uzatılması (biyokoruma) ve çiğ süt, et ve taze gıdalarda dekontaminasyon (biyokontrol) amacıyla kullanılabilir. Antibiyotik alternatif olarak hayvan ve bitki yetiştiriciliğinde terapötik amaçlı kullanılmasının yanı sıra, gıda endüstrisindeki temel problemlerden biri olan biyofilm oluşumunu önleme ve elimine etmede, patojen bakterilerin hızlı tespitinde kullanılması konusunda yoğun araştırmalar devam etmektedir. Bakteriyofaj uygulamaları, *Listeria monocytogenes*, *Escherichia coli* O157:H7, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas spp.* ve *Salmonella spp.* gibi gıda kaynaklı patojenler üzerine yoğunlaşmıştır. Fajın gıda güvenliğiyle ilgili iki benzersiz özelliği arasında, hayvan ile bitki hücrelerine ve doğal mikrobiyotaya zarar vermemeleri sıralanabilmektedir. Fajların konakçılarına özgü özellikleri, sadece sınırlı sayıda bakteri suşunu enfekte edebilmeleri açısından bir dezavantaj olarak değerlendirilmektedir. Buna ek olarak çevresel faktörlerden (ultraviyole (UV) ışınları, sıcaklık ve nem dalgalanmaları, bitki koruması için kullanılan kimyasalların kalıntıları gibi) etkilenebilir olması faj uygulamasında çeşitli zorluklar yaratmaktadır. Bu derlemede, son yıllarda inovatif bir yaklaşım olarak değerlendirilen bakteriyofajların ticarileştirilme süreci, tarım ve gıda alanlarındaki uygulamalarının avantaj ve dezavantajları detaylı olarak incelenerek, hasat öncesi ve hasat sonrası gıda işlemede kullanılabilirliği değerlendirilmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Virüs, Bakteriyofaj, Faj Terapisi, Gıda Teknolojisi, Biyofilm, Biyoajan.

## "Bacteriophages" as an Innovative Approach in Food Technologies

### Abstract

In line with the resistance of pathogenic microorganisms in contaminated foods to antibiotics in the food production chain, the imposition of legal restrictions on the use of antibiotics in animal nutrition in Europe and the USA, and the demand of consumers for products that do not contain chemical contamination, alternative control methods are required for the decontamination of foods from pathogens. Phages, defined as viruses that infect living microbial cells in recent years, have started to be commercialized for different purposes in the agriculture and food industry. It can generally be applied at all stages of the food chain from "farm to table" in the destruction of pathogens in foods. Bacteriophages, especially in the food industry, can be used for disinfection of equipment and contact surfaces (biosanitization), using as natural preservatives in perishable foods, extending the shelf life of the product (bioprotection), and decontamination (biocontrol) in raw milk, meat, and fresh foods. In addition to its therapeutic use in animal and plant breeding as an alternative to antibiotics, intensive research continues on its use in the prevention and elimination of biofilm formation, one of the main problems in the food industry, and rapid detection of pathogenic bacteria. Bacteriophage applications have focused on foodborne pathogens such as *Listeria monocytogenes*, *Escherichia coli* O157: H7, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas spp.* and *Salmonella spp.* Two unique characteristics of phage regarding food safety are that they do not damage animal and plant cells and do not harm the natural microbiota. The characteristics of phages specific to their hosts are seen as a disadvantage in that they can only infect a limited number of bacterial strains. Besides, being easily affected by environmental factors (such as ultraviolet (UV) rays, temperature, and humidity fluctuations, and chemical agent residues used for plant protection) that creates various difficulties in phage application. In this review, it is aimed at a different perspective by examining the advantages and disadvantages of the applications of bacteriophages in agriculture and food fields, which have been considered as an innovative approach in recent years.

**Keywords:** Virus, Bacteriophage, Phage Therapy, Food Technology, Biofilm, Bioagent.

## 1. Giriş

İngiliz bakteriyolog Ernest Hankin 1896'da ilk kez bakteri filtrelerinden geçen tanımlanmamış bir maddenin antibakteriyel aktiviteye sahip olduğunu bildirmiştir (Nigam ve ark., 2014). Frederick Twort 1915'te, doğal antibakteriyel ajanlar olarak faj kullanımını önermiştir. Felix d'Herelle ise (1919) fajları şiddetli dizanteri tedavisi için kullanmış ve bakteriyel inhibisyonunda plak oluşumunu virüslere bağlayan ve "bakteriyofaj" terimini ilk kez kullanan araştırmacı olmuştur (Garcia ve ark., 2008; Lin ve ark., 2017). Takip eden yıllarda, d'Herelle faj biyolojisi üzerine kapsamlı çalışmalar gerçekleştirmek üzere 1923'te Tiflis'te (Gürcistan) Uluslararası Bakteriyofaj Enstitüsü'nün kurulmasına öncülük etmiştir (Sulakvelidze ve ark., 2001). Fajlar, 1920-1940 yılları arasında dizanteri, kolera ve cilt hastalıkları gibi hastalıkların tedavisinde terapötik ajanlar olarak tanımlanmıştır (Hermoso ve ark., 2007; Monk ve ark., 2010). 1928'de penisilin keşfiyle antibiyotik kullanımının başlaması ve II. Dünya Savaşı'ndan sonra batı toplumlarında enfeksiyonların tedavisinde antibiyotiklere öncelik verilmesi, kapsamlı araştırmaların devam ettiği eski Sovyetler Birliği ve Polonya dışındaki tüm ülkelerde fajların terapötik olarak kullanımını büyük ölçüde sınırlandırmıştır (Slopek ve ark., 1987; Sulakvelidze ve ark., 2001).

Son yıllarda, mikrobiyal enfeksiyonları tedavi etmek için antibiyotiklerin bilinçsizce uzun süreli ve düzensiz kullanımı, mikroorganizmaların antibiyotiklere karşı direnç oluşturmaya sebep olmuştur (Shafiani ve Malik, 2003). Antibiyotiklerin yerine geçebilecek potansiyele sahip olan bakteriyofajlar zorunlu parazit olup doğal bakteriyel katillerdir, canlı bakteriyel hücreleri konakçı olarak kullanarak yeni fajlar üretirler ve son aşamada bakteri hücrelerini parçalayarak etrafa yayılırlar (Barberis ve ark., 2018; Lewis ve ark., 2020). Hedef hücrelerini özgün ve seçici olarak tanımak ve etkili bir şekilde öldürmek için milyonlarca yıllık evrim tarafından optimize edilen fajlar, oldukça çeşitli olup, farklı türlerdeki canlılara yayılmış olarak yeryüzünde en yaygın bulunan mikroorganizmalardır. Bakteriyofajlar enfekte ettikleri bakteri grubu ve suşu kullanılarak isimlendirilmektedir; örneğin, *E. coli*'yi enfekte eden bir faj "coliphage" olarak adlandırılmaktadır (Hendrix, 2002; Brüssow ve Kutter, 2005; van Regenmortel ve Mahy, 2010; Hussain ve ark., 2017). Biri litik diğeri lizojenik olmak üzere iki yaşam döngüsüne sahip olan fajlar kendi kendilerini kopyaladıkları için çevresel yayılmaları da oldukça kolaydır (Zaman ve ark., 1991; Rao ve Lalitha, 2015).

Bakteriyofajlar, insan bağırsağında (Shkoporov ve ark., 2018), derisinde (van Zyl ve ark., 2018), hayvanlarda (Morozova ve ark., 2018), kanalizasyon arıtma sistemlerinde (Fernandez-Cassi ve ark., 2018) ve fermente gıdalarda (Halter ve Zahn, 2018) doğal olarak bulunmaktadır. Fajların bağırsak mikrobiyotası üzerinde olumsuz bir etkisi tespit edilmemiştir (Aldayel, 2019). Geniş aktivite spektrumlarına sahip olan birçok kimyasal antibiyotik, süper enfeksiyonları indüklemeye eğilimlidir, ancak fajlar konakçı özgüllükleri nedeniyle sağlığı koruyan normal flora bakterilerini sadece minimal olarak etkilemektedir (Carlton, 1999; Skurnik ve ark., 2007; Gupta ve ark., 2011). Fajların ve litik proteinlerin çoklu antibiyotiğe dirençli bakteriyel enfeksiyonlarının tedavisi üzerine yapılan araştırmalar, faj terapisinin antibiyotik ile tedaviye alternatif monoterapi şeklinde kullanımının yanı sıra bulaşıcı hastalıkların tedavi etkinliğini artırmak için antibiyotikler ile de kombine edilebileceğini göstermektedir (Kutateladze ve Adamia 2010, Lin ve ark., 2017).

Fajların tedavi amaçlı AR-GE maliyeti, antibiyotiklerle karşılaştırıldığında nispeten daha ucuzdur (El-Shibiny ve El-Sahhar, 2017) ve enfeksiyonların tedavisinde, antibiyotik tedavisinde gerekenden daha az sıklıkta ve daha düşük bir tedavi dozuna ihtiyaç duyulmaktadır (Sulakvelidze ve ark., 2001).

### 1.1 Fajların Hayvan Yetiştiriciliğinde Kullanım Alanları

Çiftlik hayvanları, *Listeria*, *Campylobacter*, *Escherichia* ve *Salmonella* gibi birçok önemli bakteriyel patojenin rezervuarıdır ve bu sebeple insanlar tarafından tüketildiklerinde enfeksiyona neden olabilmektedir (Endersen ve ark., 2014). Avrupa Birliği, hayvan yetiştirilmesinde antibiyotiklerin profilaktik kullanımını yasakladığından, dünyanın geri kalanı antibiyotik kullanımına alternatifler bulmak ve ciddi önlemler almak için yoğun bir baskı altındadır ((USFDA), 2006; Cogliani ve ark., 2011). Antibiyotik kullanımına alternatif olarak hayvancılık üretimindeki faj terapisi; birincil üretim sırasında probiyotik formunda faj uygulanması yoluyla patojenlerin neden olduğu enfeksiyonların önlenmesinde, kesim öncesi hayvanların derisinin dezenfekte edilmesinde ve hayvan büyümesi sırasında, gıda işleme sırasında hayvan dışkı ile çapraz kontaminasyon olasılığının azaltılmasında ve hayvanlarda halihazırda mevcut olan bir hastalığın tedavisinde etkili olabilmektedir (Sillankorva ve ark., 2012; Kazi ve Annapure, 2016).

Fajlar, kümes hayvanlarında spreyleme, ağız yoluyla, içme suyuna veya yeme dahil edilerek *Salmonella* ve *Campylobacter*'i, geviş getiren hayvanlarda ise oral ve/veya rektal olarak *E. coli*'yi kontrol etmek amacıyla uygulanmıştır (Sillankorva ve ark., 2012). Püskürtme yöntemi *E. coli* O157:H7'yi önemli ölçüde azaltmazken, oral yolla besleme yönteminin bu patojeni önemli ölçüde azalttığı gözlemlenmiştir (Bach ve ark., 2009; Arthur ve ark., 2017). Fajların rumen ve gastrointestinal sistemdeki gıda partiküllerine seçici olmayan şekilde bağlanması (Goodridge ve Bisha, 2011) ve gastrointestinal sisteme yetersiz sayıda oral fajın ulaşması (Hagens ve Loessner, 2007) oral uygulamalardaki başarısızlıkların sebepleri arasında görülmektedir. Buna çözüm olarak fajların enkapsülasyon olarak kullanımını hayvanlardaki gastrointestinal sistem koşullarında bakteri hücrelerine daha etkin lokalize olmasını sağlamaktadır (Ma ve ark., 2008; Wang ve Sabour, 2010). Yapılan bir çalışmada, *Salmonella typhimurium*'u kontrol etmek için domuz yemine mikrokapsülenmiş faj karışımının etkinliği araştırılmış ve mikrokapsülasyon uygulanmış fajlarla beslenen domuzların, besleme ve kontrol gruplarına kıyasla doğrudan daha az *S. typhimurium* bulaştığı gözlemlenmiştir (Wall ve ark., 2010). Bakteriyel fajlar, deniz suyunda da uzun süreli olarak hayatta kalabilmektedir (Pereira ve ark., 2011). Su ürünleri yetiştiriciliğinde mikrobiyal hastalıkların önlenmesine alternatif olarak faj terapisi önerilmiştir (Oliveira ve ark., 2012). Birçok çalışma, litik fajların balık ve kabuklu deniz hayvanlarında farklı bakteri türlerini kontrol etmede yararlı olduğunu göstermiştir (Rao ve Lalitha, 2015).

### 1.2 Fajların Bitkisel Tarımda Hasat Öncesi Kullanım Alanları

Birçok önemli bakteriyel bitki patojeni üzerinde faj biyokontrolü üzerine çok sayıda umut vaat eden çeşitli çalışmalar yayınlanmıştır (Buttimer ve ark., 2018). Tarla ve bahçe bitkisi yetiştiriciliğinde birçok önemli bitki patojeni kaynaklı hastalıkların kontrolünde fajların biyokontrol ajan olarak kullanılabilmesi tespit edilmiştir (Tablo 1) (García ve ark., 2008; Buttimer ve ark., 2018). Ticari tüm elma ve armut türleri, *Xylella*

*fastidiosa* patojenine orta ile yüksek derecede duyarlıdır ve dirençli germplazma mevcut değildir. Kanada ve ABD'de, streptomisin ve kasugamisin, ateş yanıklığı patojeninin kontrolünü sağlamak için açık çiçeklenme sırasında uygulanmaktadır (McManus ve ark., 2002; McManus ve ark., 2014). Streptomisin direncinin mevcut olduğu ve/veya organik meyve yetiştirilen bölgelerde, antibiyotik kullanımının yasaklanması sebebiyle alternatif kontrol stratejilerine ihtiyaç duyulmaktadır. *Myoviridae* ve *Podoviridae*'ye ait patojenik olmayan konakçı *Pantoea agglomerans* ile birleştirilen fajlar, açık çiçeklenme sırasında patojeni kontrol etme yetenekleri açısından sera ve tarla koşullarında test edilmiş ve ateş yanıklığında önemli ölçüde azalma gözlemlenmiştir (Lehman ve ark., 2007; Scircev ve ark., 2010; Boulé ve ark., 2011).

Fajların ultraviyole (UV) ışınlarla, sıcaklık ve nem dalgalanmalarına, kimyasal ajan kalıntıları gibi olumsuz çevresel faktörlere doğrudan maruz kalması sebebiyle açık ortamda yetiştirilen bitkilerde bakterilerin faj yoluyla biyokontrolü zordur ve faj uygulamasının optimize edilmesi gerekir (Fernández ve ark., 2018). UV'nin olumsuz etkilerini en aza indirmek ve yaprak yüzeyleri üzerinde yüksek faj popülasyonlarının kaldığı süreyi uzatmak için fajlar bitkilere gün sonunda uygulanabilmektedir (Jones ve ark., 2012). Yapılan bir çalışmada, mikroenkapsülasyon uygulaması fajların UV duyarlılığını azaltarak pH 3-7 aralığında ve aşırı sıcaklıklarda hayatta kalmasını artırmıştır (Lewis ve Hill, 2020). Bitkisel tarımda bitki patojenlerine karşı bazı faj uygulamaları Tablo 1'de gösterilmektedir.

Tablo 1. Tarımda Bakteriyofaj Uygulamaları

Patojen Mikroorganizma	Etki	Referans
<i>X. campestris</i> pv. <i>Vesicatoria</i>	Domates bitkilerinde bakteriyel lekelerin azalması.	Balogh ve ark., (2003)
<i>Xanthomonas axonopodis</i> pv. <i>allii</i>	<i>Xanthomonas</i> 'in etken maddesi soğan yaprak yanıklığının şiddetini azaltması.	Lang ve ark., (2007)
<i>X axonopodis</i> pv. <i>citri</i>	Asya turuncgil kanserinde yaklaşık %59'luk bir azalma sağlaması.	Balogh ve ark., (2008)
<i>Pseudomonas tolaasii</i>	İstiridye mantarlarında kahverengi leke hastalığının tamamen inhibisyonunun sağlanması.	Kim ve ark., (2011)
<i>Ralstonia solanacearum</i>	φRSL1 faj uygulaması sonucunda patojenin domates kökünde varlığının engellenmesi.	Fujiwara ve ark., (2011); Bae ve ark., (2012)
<i>E. amylovora</i>	Saksı elma ağaçlarında <i>Pantoea agglomerans</i> ile birlikte % 56 hastalık azalması.	Boule ve ark., (2011)
<i>Dickeya solani</i>	Tohum yumrularına muamele edilen ekim fajından 82 gün sonra verimde önemli bir artışın sağlanması.	Adriaenssens ve ark., (2012)
<i>Pectobacterium caratovorum</i>	Faj terapisi sonrası fitopatojen ile hastalık insidansında azalma.	Lim ve ark., (2013)
<i>Pseudomonas syringae</i>	Üç fajlı kokteyl ile soya fasulyesinde bakteriyel yanıklığın, yaprakların kurumasının ve enfekte olmuş bitkilerin nihai ölümünün engellenmesi.	Susianto ve ark., (2014)
<i>Pseudomonas syringae</i> pv. <i>Actinidiae</i>	Enfekte kivi meyvelerinden izole edilmiş fajların tam karakterizasyonu yoluyla fajların biyokontrol ajanları olarak kullanılması.	Frampton ve ark., (2014)
<i>Dickeya</i> spp.	Etkinliğini kanıtlamak için izole edilmiş fajın genom dizilemesi.	Czajkowski ve ark., (2014)
<i>Xylella fastidiosa</i>	Dört fajlı bir kokteyl ile patojen popülasyonunun önemli ölçüde azaltılması.	Das ve ark., (2015)
<i>Erwinia amylovora</i>	Elma fidelerinin tedavisi, <i>E. amylovora</i> 'ya özgü bakteriyofajların penetrasyonu ve translokasyonu nedeniyle hastalığın şiddetini azaltılması.	Nagy ve ark., (2015)
<i>Pseudomonas syringae</i> pv. <i>Porri</i>	Hastalık semptomunun gelişiminin zayıflaması.	Rombouts ve ark., (2016)
<i>Xylella fastidiosa</i>	Üzümde terapötik ve profilaktik tedaviler için kullanan faj kokteyllerinin sera deneylerinde patojen ve semptom gelişimini önemli ölçüde kontrol edebilmesi.	Svircev ve ark., (2018)
<i>Xanthomonas oryzae</i> pv. <i>Oryzae</i>	Fajlarla tohum tedavisinden sonra patojen popülasyonunun ortadan kaldırılması.	Ranjani ve ark., (2018)
<i>Pectobacterium atrosepticum</i>	<i>Podoviridae</i> virüs ailesinden olan CB1, CB2 ve CB3 fajlarının yumuşak kök hastalığının tedavisinde kullanılması.	Buttimer ve ark., (2018)

### 1.3 Fajların İşlenmiş Gıdalarda Kullanımı

Fermente süt ürünü üretilen işletmelerde fermentasyonda görev alan laktik streptokokları enfekte eden fajların kontaminasyonu ve süt endüstrisinde yarattığı sorunlar, 80 yıldan uzun bir süre önce Whitehead ve Cox (1935) tarafından rapor edilmiştir (Garneau ve Moineau, 2011). Peynir fabrikalarında faj kontaminasyonu önemli bir sorundur; çünkü peynir altı suyunun ayrılması genellikle aerosol kaynaklı fajların ortaya çıkmasına ve dolayısıyla fabrika ortamının kirlenmesine yol açmaktadır (Połaska ve Sokołowska, 2019). Bu nedenle, fermente süt ürünü işletmelerinde faj seviyelerini düşürmek ve süt fabrikalarında faj dağılımını durdurmak amacıyla; starter kültür rotasyonu, starterlerin doğrudan inokülasyonu, peynir altı suyunun dikkatli kullanımını ve uzaklaştırılması, faj-engelleyici ortam oluşturulması, UV radyasyonu, termal uygulama ve filtrasyon vb. optimize edilmiş sanitasyon ve faj dirençli starter kültürlerinin kullanımı uygulanan yaklaşımlardan bazılarıdır (Coffey ve Ross, 2002; Moineau ve ark., 2002; Atamer ve ark., 2013; Pujato ve ark., 2019).

Günümüzde özgün hedef mikroorganizmalara karşı fajların biyokoruma, doğal veya kontrollü mikrobiyota ya da antimikrobiyal olarak kullanılması ürünlerin raf ömrünü uzatmada önemli bir araştırma alanı oluşturmaktadır (Singh, 2018). Fajlar, patojenik ve bozulma etmeni bakterilerin (özellikle psikrotrofik bakteriler) soğutulmuş gıdalar üzerindeki büyümesini 1° C'ye kadar düşük sıcaklıklarda bile konakçıları parçalayarak kontrol altına alabildiğinden, ideal gıda biyokoruma ajanı olarak görülmektedir (Greer, 1982; Greer, 1988). Son yıllarda yapılan bir çalışmada, yüksek özgülükleri nedeniyle fajlar, süt ürünlerinde sıklıkla bulunan *Staphylococcus* bakterilerini yok etmek için de kullanılmıştır (Połaska ve Sokołowska, 2019). Diğer bir çalışmada ise, mikroenkapsüle edilmiş fajların domateslerde *E. coli* mikrobiyal yükünü beş gün boyunca önemli ölçüde azalttığı tespit edilmiştir (Ramirez ve ark., 2018).

Fermentasyon, süt ve süt ürünleri işleme, kanatlı ve kırmızı et üretim tesislerinde biyofilm oluşumu, gıda güvenliği ve sanitasyon açısından önemli bir problemdir (Langsrud ve ark., 2003). Gıda işleme tesislerindeki tank ve boru hatlarında biyofilm oluşumu, metal korozyona neden olan fiziksel ve kimyasal reaksiyonlara sebep olmaktadır. Ekipmanlardaki biyofilm kalınlığının önemli bir noktaya gelmesi ise boru hatlarında ve özellikle plakalı eşanjörlerde ısı iletimini azaltabilmektedir (Simões, 2010). Sütte bulunan patojen sporları, süt işleme tesislerindeki ekipmanlarda pastörizasyondan sonra hayatta kalabilmekte ve biyofilm oluşturabilmektedir. Süt işletmelerinde, pastörizasyon sonrasında meydana gelen kontaminasyonun başlıca kaynağı dolmuş makineleridir (Dogan ve Boor, 2003). Biyofilm oluşumunu azaltmada ve elimine etmede birincil basamak, temizlik ve dezenfeksiyon işlemlerinin sık olarak uygulanmasıdır, ancak bu işlem kalıntı oluşturma ve yüzey aşımını gibi etkiler göz önünde bulundurularak yapılmalıdır (Mosteller ve Bishop, 1993; Wirtanen ve ark., 2000). Yüksek konsantrasyonlarda kullanılan dezenfektanlar ortamdaki hassas mikroorganizmaları belli ölçüde elimine edebilmektedir ve zamanla antimikrobiyallere dirençli mikroorganizmalar gelişebilmektedir (Davies, 2003). Bu sebeple faj uygulaması, bakterilerin elimine edilmesinde kullanılan, spesifik, herhangi bir toksisiteye sahip olmayan oldukça kullanışlı bir yöntemdir

(Sillankorva ve ark., 2004). Tablo 2'de farklı fajların çeşitli gıdalardaki patojen veya bozulma etmeni mikroorganizmalar üzerine etkisi ile ilgili yapılan çalışmalar bulunmaktadır.

Fajların, ticari gıda zincirinin farklı aşamalarında bakteriyel patojenlerin ve/veya bozulma etmeni mikroorganizmaların kontaminasyonunu önlemek için kullanılabilir alternatif olarak kullanılması yoğun bir araştırma alanını oluşturmaktadır (de Melo ve ark., 2018). Fajlar diğer gıda koruyucularında olduğu gibi gıdaların duyuşal özelliklerini değiştirmemekte (Połaska ve Sokołowska, 2019) ve genellikle gıda işleme koşullarına (gıdanın fizikokimyasal koşulları dahil) karşı direnç göstermektedir (Sillankorva ve ark., 2012). Gıda zincirinde fajlardan farklı şekillerde yararlanılabileceği düşünülmektedir. Bu amaçla, çiğ etlerin, taze ürünlerin veya çiğ sütlerin (biyokontrol) dekontaminasyonu, ekipman ve temas yüzeylerinin dezenfeksiyonu (biyosanitasyon), hazır ürünlerin raf ömrünün uzatılması (biyokoruma) gibi uygulamalar başlıca hedefler arasında yer almaktadır (Sillankorva ve ark., 2012). Fajlar ambalaj materyaline ise; doğrudan eklenerek (Gouvêa ve ark., 2016; Amarillas ve ark., 2018) veya daldırma (Sukumaran ve ark., 2016; Vonasek ve ark. 2018) ve püskürtme metodu gibi çeşitli şekillerde dahil edilebilmektedir.

Gıdalarda faj uygulamalarında, gıdanın bazı iç ve dış faktörleri fajın etkinliğini doğrudan etkileyebilmektedir. Fajların, bakteri sayısını *in vitro* uygulamalardaki azaltma etkinliği; uygulanan fajların konsantrasyonu, uygulama yöntemi ve zamanlaması, konakçı hücrenin büyüme koşulları ve çevresel koşullar (sıcaklık, iyonik ortam, pH, besin konsantrasyonu) gibi birçok faktöre bağlıdır (Huff ve ark., 2003; Ryan ve ark., 2011; Robinson, 2014). Genel olarak, faj konsantrasyonu ne kadar yüksek olursa, hedef bakteri sayısında da o derece azalma olmaktadır (Lewis ve Hill, 2020). Faj dirençli suşların ortaya çıkışını sınırlandırmak ve etkinliği artırmak için tek fajın aksine faj kokteyli tavsiye edilmektedir (de Melo ve ark., 2018). Faj uygulamasında sıcaklığın etkisini incelemek için yapılan bir çalışmada, T4 faj veriminin yüksek oranda sıcaklığa bağlı olduğu ve 45 °C, 55 °C ve 70 °C sıcaklıkların T4 fajının inaktivasyonuna neden olduğu gözlemlenmiştir. 37 °C'nin ise T4 fajının *E. coli* BL21'e karşı bakteriyolitik aktivitesi için ideal bir sıcaklık olduğu tespit edilmiştir (Taj ve ark., 2014). Gıdanın matrisi fajların aktivitesini etkileyebilmektedir (Lewis ve Hill, 2020). Yapılan bir çalışmada, tek faj kullanılarak sıvı yumurta ve meyve suyunda *S. typhimurium* yükünü azaltmak için 105/gr kullanılması gerekli iken, pişmiş sığır eti ve tavukta benzer miktarda bir azalma sağlamak için 107/gr gerekli olmuştur (Thung ve ark., 2017). Fajlar asidik ortama karşı duyarlıdır (Ramirez ve ark., 2018). Yapılan çalışmalar, fajların genellikle pH 5 ve 8 arasında stabil olduğunu, düşük sıcaklıklarda bu aralığın 4 ila 10 arasında olduğunu göstermiştir (Adams, 1959). Yapılan bir çalışmada, asidik koşulların üstesinden gelmek için süt proteinleri ile faj enkapsülasyonu yapılması bir strateji olarak test edilmiş ve fajlar pH 2'de 2 saat boyunca korunmuştur (Samtlebe ve ark., 2016). Başka bir çalışmada ise, asit gidericiler pH'yı artırarak bağırsaktaki fajların hayatta kalmasını sağlamak için öncesi veya sonrasında fajlarla birlikte verilmiştir (Carvalho ve ark., 2010; Hammerl ve ark., 2014). Yapılan çalışmalarda, bir fajın başka bir gıda sınıfı olan antimikrobiyaller (nisin) (Leverentz ve ark., 2003) ve trans-sinamaldehit yağı (Viazis ve ark., 2011) ile kombine edildiğinde sinerjistik bir etkinin oluştuğunu göstermiştir.

Tablo 2. Fajların Gıdalarda Biyokoruma Amacıyla Kullanım Örnekleri

Hedef mikroorganizma	Faj Türü	Gıdanın Türü	Proses koşulları	Etkinliği	Kaynaklar
<b>Patojen Mikroorganizmalar</b>					
<i>E. coli</i>	DT1-DT6 kokteyl faj	Süt	4°C 24°C, 24 saat 37°C	<10 <sup>1</sup> CFU/mL ~4 log CFU/mL ~4 log CFU/mL	Tomat ve ark., (2018)
Enterohemorrhagic <i>E. coli</i> (EHEC)	<i>E. coli</i> faj OSY-SP	Kesilmiş yeşil biber Ispanak yaprakları	5 dk durulama 2 dk durulama	~2.7 log CFU/g azalma ~3.4 log CFU/g azalma	Snyder ve ark., (2016)
<i>L. monocytogenes</i>	P100	Brezilya taze sosisi	4°C, 10 gün	2.5 log azalma	Rossi ve ark., (2011)
<i>Shigella</i>	İki Shigella spesifik fajları (vB_SflS-ISF001 ve vB_SsoS-ISF002)	Kontamine olmuş et	2 saat 120 saat	~1.4 log CFU/g azalma ~1.1 log CFU/g Azalma	Shahin ve ark., (2019)
<i>Salmonella</i>	(LPSTLL, LPST94 ve LPST153) faj kokteylleri	Süt, tavuk göğsü	25 °C ya da 4 °C	~3logCFU/g azalma	Islam ve ark., (2019)
<i>Salmonella enterica</i>	Faj kokteyl (fSE7, fSE8, fSE12, fSE1, fSE4)	Pişmiş hindi jambonu ve tavuk sosisi	18 °C	~2.12 log CFU/g azalma	Galarce ve ark., (2016)
<b>Bozulma Etmeni Mikroorganizmalar</b>					
<i>Brochothrix thermosphacta</i>	Homolog bakteriyofaj A3	Domuz yağı dokusu	28°C ya da 68°C	2 log azalma	Greer ve Dilts, (2002)
<i>Serratia</i>	AZT6	Balık	Maksimum 6 gün, 6°C	~1 log 'a kadar azalma	Hernández, (2017)

## 2. Tarım ve Gıda Alanında Kullanılmak Üzere Ticarileştirilen Faj Kültürleri

Fajların doğal antimikrobiyal ajanlar olarak uygulanma olanağı, dünya çapında çok sayıda şirket tarafından faj bazlı ürünlerin üretilmesini sağlamıştır (Choińska-Pulit ve ark., 2015). Tarım-gıda sektöründe kullanılmak üzere fajların, İyi Üretim Uygulamaları'na (GMP) uygun şekilde üretilen kokteylleri Avrupa'da Gıda Güvenliği Otoritesi (EFSA) ve ABD'de Gıda ve İlaç Kurumu (FDA) tarafından onaylanmaktadır (Pirnay ve ark., 2018; Połaska ve Sokolowska, 2019). Gıda güvenliği bağlamında, tarım mahsülleri üzerindeki bakteriyel spot hastalığını önlemek için OmniLytics Inc. tarafından üretilen faj bazlı Agriphage, ABD'de tarımda kullanılmak üzere onaylanan ilk faj bazlı

üründür (US Environ. Prot. Agency 2005). Ardından, 2006 yılında *L. monocytogenes* suşlarının faj biyokontrolünü hedefleyen ilk ticari faj ürünü ListShield, FDA tarafından GRAS statüsünde kabul edilerek piyasaya sürülmüştür (Endersen ve ark., 2014; Strydom ve Witthuhn, 2015). CJ CheilJedang şirketi tarafından geliştirilen BioTector ise, kümes hayvanlarında tifo ve pullorum hastalığına neden olan *Salmonella* türlerini kontrol altına alarak hayvan yemindeki antibiyotiklerin yerini alan ilk faj bazlı üründür (Monk ve ark., 2010). Tüketiciler, doğal kaynaklardan elde edilen katkı maddelerini, yıllardır kullanılan kimyasal katkı maddelerine tercih etmektedir (Lewis ve Hill, 2020). Fajların işlenmiş gıdalarda uygulanabilmesi için tüketici görüşü büyük bir önem taşımaktadır. Yapılan bir çalışma, tüketicilerin büyük bir kısmının, faj ile muamele edilmiş taze ürünler için ek bir miktar ödeme yapmaya istekli olduğunu

göstermiştir (Naanwaab ve ark., 2014). Ticari olarak piyasada mevcut olan faj ürünleri Tablo 3’de gösterilmiştir.

Tablo 3. Ticarileştirilmiş Bakteriyofajlar ve Uygulama Alanları

Şirket	Faj	Hedef Bakteri	Uygulama alanı	Kaynak
<b>Gıda zincirinde mevcut olan ticari fajlar</b>				
Intralytix, Inc Kolombiya, ABD	SalmoFresh	<i>S. enterica</i>	Kümes hayvanları, su ürünleri, meyve ve sebzeler	<a href="http://www.intralytix.com/index.php?page=prod">http://www.intralytix.com/index.php?page=prod</a>
	ListShield	<i>L.monocytogenes</i>	Et ve kümes hayvanları ürünleri	
	ShigaShield	<i>S.flexneri, S.sonnei</i> ve <i>S.dysenteria</i>	Pişmiş sığır eti ve tavuk, fümé somon, kış kavunu, marul ve yogurt	
	EcoShield PX	<i>E.coli</i> ve Shiga toksin üreten <i>E.coli</i> (STEC) (O157:H7)	Et ürünleri	
	Ecolicide	<i>E. coli</i> O157:H7	Evcil hayvan maması	
	SalmoLyse	<i>S. enterica</i>	Evcil hayvan maması	
	ListPhage	<i>L. monocytogenes</i>	Evcil hayvan maması	
	Ecolicide PX	<i>E. coli</i> O157:H7	Canlı hayvan derisi (hasat öncesi)	
ARM & HAMMER Animal and Food Production, Iowa, ABD	Finalyse O157	<i>E. coli</i> O157:H7 ve diğer Shiga toksin üreten <i>E. coli</i> (STEC)	Sığır eti	<a href="https://ahfoodchain.com/">https://ahfoodchain.com/</a>
	Finalyse SAL	<i>Salmonella</i>	Kümes hayvanları	
OmniLytics Utah, ABD	AgriPhage	<i>Xanthomonas campestris</i> <i>P. syringae</i>	Domates ve biber	<a href="https://www.agriphage.com/">https://www.agriphage.com/</a>
	AgriPhage-Fire Blight	<i>E. amylovora</i>	Elma ve armut	
	AgriPhage CMM	<i>Clavibacter michiganensis</i>	Domates	
	AgriPhage-Citrus Canker	<i>Xanthomonas citri</i>	Turunçgiller	
	PhageGuard Listex	<i>L. monocytogenes</i>	Et ve tavuk ürünleri, su ürünleri, peynir, meyve ve sebzeler	<a href="https://phageguard.com/">https://phageguard.com/</a>

Microcos Food Safety B.V. Wageningen, Hollanda	Phage Guard S	<i>Salmonella</i>	Evcil hayvan maması, gıda ile temas eden yüzeyler	
	PhageGuard E	<i>E. coli</i> 0157	Meyve ve sebzeler, evcil hayvan maması, et ve tavuk ürünleri	
CJ CheiJedang Corp. Seoul, Korea	Biotector	<i>Salmonella</i> , <i>C.perfringens</i> , <i>E.coli</i>	Domuz, kümes hayvanları	<a href="https://www.cjbio.net/en/products/biotector.do">https://www.cjbio.net/en/products/biotector.do</a>
APS Biocontrol LTD Dundee, İngiltere	Biolyse-PB	Patateslerin en yaygın yumuşak çürük bakterileri	Patates	<a href="https://www.apsbiocontrol.com/">https://www.apsbiocontrol.com/</a>
Proteon Pharmaceuticals, Łódź, Polonya	BAFASAL	<i>Salmonella</i>	Kümes hayvancılığı	<a href="https://www.proteonpharma.com/">https://www.proteonpharma.com/</a>

### 3. Gıda Kaynaklı Patojenlerin Tespitinde Faj Bazlı Sensör Uygulamaları

Biyosensörler yaygın patojen tespit yöntemlerinin sınırlamalarını en aza indirmek için yeni tespit yöntemleri olarak geliştirilmektedir. Faj bazlı biyosensörlerde faj, sensör yüzeyine seçici olarak bağlanmakta ve numunedeki patojen tespit edilebilmektedir (Casey ve ark., 2017). Sultan ve ark., (2019) tarafından yapılan bir çalışmada; faj bazlı baroreseptör yoluyla patojenleri (*E. coli* suşları) tespit etmek için yeni bir biyosensör önerilmiştir. Önerilen biyosensör, elmas şeklindeki bir mikroserit yuva anteni kullanarak farklı gıda numunelerindeki patojenik bakterileri tespit edebilmektedir. Faj-bakteri etkileşimi, bu sensörlerde iletim hatlarındaki ve anten yanıtlarındaki dinamik değişiklikler yoluyla tespit edilmektedir. Aynı zamanda antenin domates numunesinde *E. coli*'yi tespit etme doğruluğu da araştırılmıştır. Sonuçlar, tasarlanan algılama elemanları yoluyla bakteri ve faj arasındaki geçici etkileşimin etkili bir şekilde tespit edilebildiğini göstermektedir (Sultan ve ark., 2019). *E. coli* tespiti için yapılan bir diğer çalışmada ise *E. coli* O157:H7'yi hızlı ve hassas bir şekilde tespit etmek için patojene özgü faj phiV10lux tasarlanmıştır. Yapay olarak kontamine marulda, elma suyunda (pH 3.51) ve sığır eti kıymasında faj, sırasıyla yaklaşık 10 KOB/cm<sup>2</sup>, 13 KOB/ml ve 17 KOB/g miktarlarında *E. coli* O157:H7'yi başarıyla tespit etmiştir. Sonuçlar değerlendirildiğinde, faj phiV10lux, gıdalarda *E. coli* O157:H7'nin hızlı ve hassas bir şekilde tespit edilmesi için güçlü bir araç olarak kullanılabilceğini göstermektedir (Kim ve ark., 2017). Faj bazlı algılama mekanizmasının, patojenik bakterilerin geleneksel tespit testlerine kıyasla daha hızlı, daha doğru ve düşük maliyetli bir şekilde tespit etmesi beklenmektedir.

### 4. Faj Uygulamasında Başlıca Kısıtlayıcı Faktörler

Fajların, gıda ve tarım alanlarında uygulamalarında bazı kısıtlayıcı faktörler mevcuttur. Fajların antimikrobiyal olarak kullanılmasında enfeksiyona neden olan bakteri türlerinin tam kimliğinin bilinmesi gereklidir (Rao ve Lalitha, 2015). Fajların konakçılara özgü özellikleri, sadece sınırlı sayıda bakteri suşunu enfekte edebilmeleri açısından bir dezavantaj olarak

görülmektedir (Cieplak ve ark., 2018). Bu nedenle birkaç fajdan oluşan bir karışımın (kokteyl) dar konakçı aralığını genişletmek için bir önerilmektedir (Endersen ve ark., 2014). Bakteriler antibiyotiklere karşı direnç geliştirebilirken, farklı mekanizmalar yoluyla fajlara da dirençli hale gelebilmektedir. Bu mekanizmalar arasında, bakteriyel hücre üzerindeki faj yüzey reseptörlerinin modifikasyonu, fajın genomunun bakteri genomuna entegrasyonu ve fajın replikasyonu veya montajı için spesifik genlerin kaybı bulunmaktadır (Ghannad ve Mohammadi, 2012). Faj kokteyl uygulamasında, faja dirençli suşların ortaya çıkmasını önlemek amacıyla faj karışımının düzenli olarak suşlara uygulanması gerekmektedir (Fernández ve ark., 2018). Ek olarak izojenik fajlar ölümcül virülans genlerini bir konakçı bakteri kromozomuna kolayca entegre ederek zararsız bir bakteriyi ölümcül hale dönüştürebilmektedir (Fan ve Tong, 2012). Örnek olarak, toksijenik *V. cholerae*, salgın ve pandemik koleraya neden olmaktadır ve lizojenik filamentöz faj ctxΦ tarafından kodlanan ctxAB genlerinin yatay gen transferi yoluyla patojen hale gelmiştir (Heidelberg ve ark., 2000; Waldor ve Mekalanos, 1996; Faruque ve Mekalanos, 2012). Lizojenik fajlar gelecekte terör saldırılarında kullanılabilen ve biyogüvenlik riski ortaya çıkabilmektedir (Fan ve Tong, 2012).

Bir diğer kısıtlayıcı faktör ise; fajların ticarileştirilerek antimikrobiyal olarak kullanılmasında mevcut klinik araştırmaların yeterli görülmemesidir (El-Shibiny ve El-Sahhar, 2017). Faj terapilerinin hali hazırda; yöntemi, dozu, sıklığı ve süresi için belirlenmiş standart bir protokol yoktur. Uzun vadede faj terapisinin yan etkileri de bilinmemektedir. Ayrıca, faj preparatlarının saflığı ve stabilitesi, yeterli kalite kontrol verisi mevcut olmadığından şüpheli görülmektedir (El-Shibiny ve El-Sahhar, 2017). Faj terapisi ile ilgili en önemli yan etkilerden biri de, fajlar tarafından *in vivo* olarak parçalanarak bakterilerden potansiyel endotoksinlerin salınmasıdır (Lorch, 1999). Fajın neden olduğu lizis sırasında salınan endotoksinler, toksik etkilere sebep olabilmektedir ve uzaklaştırılmaları için kararlı formülasyonların geliştirilmesi gereklidir (Merabishvili ve ark., 2009; Marintcheva, 2018). Ek olarak, fajların etkinlikleri ile ilgili mevcut araştırmaların çoğu, fajların uygulanacağı gerçek ticari ortamları yansıtmayan, yapay olarak kontamine edilmiş gıdalarla yapılan deneyler içermektedir (Kazi ve Annapure, 2016). Tüm bunlara ek olarak faj konusunda, tüketici kabulünün

de değerlendirilmesi gerekmektedir (Rao ve Lalitha, 2015). Gıdalarda “virüsler” veya “virulan fajlar” terminolojisinin kullanımına ilişkin tüketicinin olumsuz algılama potansiyeli vardır (Endersen ve ark., 2014).

## 5. Sonuç

Önümüzdeki yıllarda; faj terapisinin gelişimi için ürüne özgü standart uygulama yöntemlerinin geliştirilmesi, fajlarda litik maddenin lizojenik döngüye kaymasına ilişkin güvenlik sorunlarının giderilmesi, ulusal ve uluslararası yasal düzenleyicilerin kritik uygulama parametrelerinin belirlenmesi, kullanım için yasal onaylama süreci, faj üretimi ve uygulamasına yönelik teknolojilerin geliştirilmesi, mevcut üretimin laboratuvarından çıkarak ticari ölçüğe büyütülmesi, faj kararlılığını sağlamak için ihtiyaç doğrultusunda genetik modifikasyonlar, fajların moleküler etki mekanizmalarının karakterizasyonu, konakçı özgüllüğünü garanti etmek için saflaştırma ve uluslararası faj bankalarının kurulması hedeflenmelidir. Bununla birlikte fajların, gıda ve tarım gibi birçok alanda çeşitli amaçlarla kullanılması ve bu alandaki artan gelişmelerle birlikte daha fazla araştırma ve çalışmaya, faj konusunda üretici ve tüketicinin bilinçlendirilmesine ve kullanımlarının etkin bir şekilde yaygınlaşmasına ihtiyaç vardır.

## Kaynakça

- Adams, M.H. (1959). Bacteriophages. New York, USA, Interscience Publishers.
- Adriaenssens, E. M., Van Vaerenbergh, J., Vandenheuvel, D., Dunon, V., Ceysens, P. J., De Proft, M., ... & Lavigne, R. (2012). T4-related bacteriophage LIMEstone isolates for the control of soft rot on potato caused by ‘*Dickeya solani*’. *PLoS one*, 7(3), e33227.
- Aldayel, M. F. (2019). Biocontrol strategies of antibiotic-resistant, highly pathogenic bacteria and fungi with potential bioterrorism risks: Bacteriophage in focus. *Journal of King Saud University-Science*, 31(4), 1227-1234.
- Amarillas, L., Lightbourn-Rojas, L., Angulo-Gaxiola, A. K., Basilio Heredia, J., González-Robles, A., & León-Félix, J. (2018). The antibacterial effect of chitosan-based edible coating incorporated with a lytic bacteriophage against *Escherichia coli* O157: H7 on the surface of tomatoes. *Journal of Food Safety*, 38(6), e12571.
- Arthur, T. M., Kalchayanand, N., Agga, G. E., Wheeler, T. L., & Koohmaraie, M. (2017). Evaluation of bacteriophage application to cattle in lairage at beef processing plants to reduce *Escherichia coli* O157: H7 prevalence on hides and carcasses. *Foodborne pathogens and disease*, 14(1), 17-22.
- Atamer, Z., Samtlebe, M., Neve, H., Heller, K. J., & Hinrichs, J. (2013). Elimination of bacteriophages in whey and whey products. *Frontiers in microbiology*, 4, 191.
- Bach, S. J., Johnson, R. P., Stanford, K., & McAllister, T. A. (2009). Bacteriophages reduce *Escherichia coli* O157: H7 levels in experimentally inoculated sheep. *Canadian journal of animal science*, 89(2), 285-293.
- Balogh, B., Canteros, B. I., Stall, R. E., & Jones, J. B. (2008). Control of citrus canker and citrus bacterial spot with bacteriophages. *Plant Disease*, 92(7), 1048-1052.
- Balogh, B., Jones, J. B., Momol, M. T., Olson, S. M., Obradovic, A., King, P., & Jackson, L. E. (2003). Improved efficacy of newly formulated bacteriophages for management of bacterial spot on tomato. *Plant disease*, 87(8), 949-954.
- Barberis, S., Quiroga, H. G., Barcia, C., Talia, J. M., & Debattista, N. (2018). Natural food preservatives against microorganisms. In *Food Safety and Preservation* (pp. 621-658). Academic Press.
- Boulé, J., Sholberg, P. L., Lehman, S. M., O'gorman, D. T., & Svircev, A. M. (2011). Isolation and characterization of eight bacteriophages infecting *Erwinia amylovora* and their potential as biological control agents in British Columbia, Canada. *Canadian journal of plant pathology*, 33(3), 308-317.
- Brüssow, H. and Kutter, E. (2005). Phage ecology. In E. Kutter & A. Sulakvelidze, *Bacteriophages: biology and applications*. Florida: Boca Raton CRC Press. pp: 129-163.
- Buttimer, C., Hendrix, H., Lucid, A., Neve, H., Noben, J. P., Franz, C., ... & Coffey, A. (2018). Novel N4-Like bacteriophages of *Pectobacterium atrosepticum*. *Pharmaceuticals*, 11(2), 45.
- Carlton RM. (1999) Phage therapy: past history and future prospects. *Arch Immunol Ther Exp (Warsz)* 1999; 47:267-74; PMID: 10604231.
- Carvalho, C. M., Gannon, B. W., Halfhide, D. E., Santos, S. B., Hayes, C. M., Roe, J. M., & Azeredo, J. (2010). The *in vivo* efficacy of two administration routes of a phage cocktail to reduce numbers of *Campylobacter coli* and *Campylobacter jejuni* in chickens. *BMC microbiology*, 10(1), 232.
- Casey, A.; Co\_e\_y, A.; McAuli\_e, O. (2017). Genetics and genomics of bacteriophages: The evolution of bacteriophage genomes and genomic research. *Bacteriophages Biol. Technol. Ther.*, 1–26.
- Choińska-Pulit, A., Mituła, P., Śliwka, P., Łaba, W., & Skaradzińska, A. (2015). Bacteriophage encapsulation: Trends and potential applications. *Trends in Food Science & Technology*, 45(2), 212-221.
- Coffey, A., & Ross, R. P. (2002). Bacteriophage-resistance systems in dairy starter strains: molecular analysis to application. *Antonie van Leeuwenhoek*, 82(1-4), 303-321.
- Cogliani, C., Goossens, H. and Greko, C. (2011). Restricting antimicrobial use in food animals: Lessons from Europe. *Microbe*. 6: 274-279.
- Czajkowski, R., Ozymko, Z., Zwirowski, S., & Lojkowska, E. (2014). Complete genome sequence of a broad-host-range lytic *Dickeya* spp. bacteriophage  $\phi$ D5. *Archives of virology*, 159(11), 3153-3155.
- Das, M., Bhowmick, T. S., Ahern, S. J., Young, R., & Gonzalez, C. F. (2015). Control of Pierce's disease by phage. *PLoS One*, 10(6), e0128902.
- Davies, D. (2003). Understanding biofilm resistance to antibacterial agents. *Nature reviews Drug discovery*, 2(2), 114-122.
- de Melo, A. G., Levesque, S., & Moineau, S. (2018). Phages as friends and enemies in food processing. *Current opinion in biotechnology*, 49, 185-190.
- Dogan, B., & Boor, K. J. (2003). Genetic diversity and spoilage potential among *Pseudomonas* spp. isolated from fluid milk products and dairy processing plants. *Applied and Environmental Microbiology*, 69, 130–138.
- El-Shibiny, A., & El-Sahhar, S. (2017). Bacteriophages: the possible solution to treat infections caused by pathogenic bacteria. *Canadian journal of microbiology*, 63(11), 865-879.
- Endersen, L., O'Mahony, J., Hill, C., Ross, R. P., McAuliffe, O., & Coffey, A. (2014). Phage therapy in the food industry. *Annual review of food science and technology*, 5, 327-349.
- Fan, H., & Tong, Y. (2012). Y., Potential Dual-Use of Bacteriophage Related Technologies in Bioterrorism and



- Biodefense. *Journal of bioterrorism and biodefense*, 3(121), 4.
- Faruque, S. M., & Mekalanos, J. J. (2012). Phage-bacterial interactions in the evolution of toxigenic *Vibrio cholerae*. *Virulence*, 3(7), 556-565.
- Fernandez-Cassi, X., Timoneda, N., Martínez-Puchol, S., Rusinol, M., Rodríguez-Manzano, J., Figuerola, N., ... & Girones, R. (2018). Metagenomics for the study of viruses in urban sewage as a tool for public health surveillance. *Science of the Total Environment*, 618, 870-880.
- Frampton, R. A., Taylor, C., Moreno, A. V. H., Visnovsky, S. B., Petty, N. K., Pitman, A. R., & Fineran, P. C. (2014). Identification of bacteriophages for biocontrol of the kiwifruit canker phytopathogen *Pseudomonas syringae* pv. *actinidiae*. *Applied and Environmental Microbiology*, 80(7), 2216-2228.
- Fujiwara, A., Fujisawa, M., Hamasaki, R., Kawasaki, T., Fujie, M., & Yamada, T. (2011). Biocontrol of *Ralstonia solanacearum* by treatment with lytic bacteriophages. *Applied and environmental microbiology*, 77(12), 4155-4162.
- Galarce, N., Escobar, B., Rojas, V., Navarro, C., Turra, G., Robeson, J., & Borie, C. (2016). Application of a virulent bacteriophage cocktail leads to reduction of *Salmonella enterica* serovar *Enteritidis* counts in processed meat products. *Biocontrol Science and Technology*, 26(4), 462-475.
- Garcia, P., Martinez, B., Obeso, J. M., & Rodriguez, A. (2008). Bacteriophages and their application in food safety. *Letters in applied microbiology*, 47(6), 479-485.
- Garneau, J. and Moineau, S. (2011) Bacteriophages of lactic acid bacteria and their impact on milk fermentations. *Microb Cell Fact* 10, S20.
- Ghannad, M. S., & Mohammadi, A. (2012). Bacteriophage: time to re-evaluate the potential of phage therapy as a promising agent to control multidrug-resistant bacteria. *Iranian journal of basic medical sciences*, 15(2), 693.
- Goodridge, L. D., & Bisha, B. (2011). Phage-based biocontrol strategies to reduce foodborne pathogens in foods. *Bacteriophage*, 1(3), 130-137.
- Gouvêa, D. M., Mendonça, R. C. S., Lopez, M. E. S., & Batalha, L. S. (2016). Absorbent food pads containing bacteriophages for potential antimicrobial use in refrigerated food products. *LWT-Food Science and Technology*, 67, 159-166.
- Greer, G. G., & Dilts, B. D. (2002). Control of *Brochothrix thermosphacta* spoilage of pork adipose tissue using bacteriophages. *Journal of food protection*, 65(5), 861-863.
- Greer, G.G. (1982) Psychrotrophic bacteriophages for beef spoilage *pseudomonads*. *J Food Prot* 45:1318–1325
- Greer, G.G. (1988) Effects of phage concentration, bacterial density, and temperature on phage control of beef spoilage. *J Food Sci* 53:1226– 122
- Gupta R, Prasad Y.(2011). Efficacy of polyvalent bacteriophage p-27/HP to control multidrug resistant *Staphylococcus aureus* associated with human infections. *Curr Microbiol* , 62:255-60; PMID: 20607539; DOI: 10.1007/s00284-010-9699-x
- Hagens, S., & Loessner, M. J. (2007). Application of bacteriophages for detection and control of foodborne pathogens. *Applied microbiology and biotechnology*, 76(3), 513-519.
- Halter, M. C., & Zahn, J. A. (2018). Characterization of a novel lytic bacteriophage from an industrial *Escherichia coli* fermentation process and elimination of virulence using a heterologous CRISPR–Cas9 system. *Journal of industrial microbiology & biotechnology*, 45(3), 153-163.
- Hammerl, J. A., Jäckel, C., Alter, T., Janzcyk, P., Stingl, K., Knüver, M. T., & Hertwig, S. (2014). Reduction of *Campylobacter jejuni* in broiler chicken by successive application of group II and group III phages. *PLoS One*, 9(12).
- Heidelberg, J. F., Eisen, J. A., Nelson, W. C., Clayton, R. A., Gwinn, M. L., Dodson, R. J., ... & Gill, S. R. (2000). DNA sequence of both chromosomes of the cholera pathogen *Vibrio cholerae*. *Nature*, 406(6795), 477-483.
- Hendrix, R. W. (2002). Bacteriophages: evolution of the majority. *Theoretical population biology*, 61(4), 471-480.
- Hermoso, J. A., García, J. L., & García, P. (2007). Taking aim on bacterial pathogens: from phage therapy to enzybiotics. *Current opinion in microbiology*, 10(5), 461-472.
- Hernández, I. (2017). Bacteriophages against *Serratia* as fish spoilage control technology. *Frontiers in microbiology*, 8, 449.
- Huff, W. E., Huff, G. R., Rath, N. C., Balog, J. M., & Donoghue, A. M. (2003). Evaluation of aerosol spray and intramuscular injection of bacteriophage to treat an *Escherichia coli* respiratory infection. *Poultry science*, 82(7), 1108-1112.
- Hussain, M. A., Liu, H., Wang, Q., Zhong, F., Guo, Q., & Balamurugan, S. (2017). Use of encapsulated bacteriophages to enhance farm to fork food safety. *Critical reviews in food science and nutrition*, 57(13), 2801-2810.
- Islam, M., Zhou, Y., Liang, L., Nime, I., Liu, K., Yan, T., ... & Li, J. (2019). Application of a Phage Cocktail for Control of *Salmonella* in Foods and Reducing Biofilms. *Viruses*, 11(9), 841.
- Jones, J. B., Vallad, G. E., Iriarte, F. B., Obradović, A., Wernsing, M. H., Jackson, L. E., ... & Momol, M. T. (2012). Considerations for using bacteriophages for plant disease control. *Bacteriophage*, 2(4), e23857.
- Kazi, M., & Annapure, U. S. (2016). Bacteriophage biocontrol of foodborne pathogens. *Journal of food science and technology*, 53(3), 1355-1362.
- Kim, J., Kim, M., Kim, S., & Ryu, S. (2017). Sensitive detection of viable *Escherichia coli* O157: H7 from foods using a luciferase-reporter phage phiV10lux. *International journal of food microbiology*, 254, 11-17.
- Kim, M. H., Park, S. W., & Kim, Y. K. (2011). Bacteriophages of *Pseudomonas tolaasii* for the biological control of brown blotch disease. *Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry*, 54(1), 99-104.
- Kutateladze, M., & Adamia, R. (2010). Bacteriophages as potential new therapeutics to replace or supplement antibiotics. *Trends in biotechnology*, 28(12), 591-595.
- Lang, J. M., Gent, D. H., & Schwartz, H. F. (2007). Management of *Xanthomonas* leaf blight of onion with bacteriophages and a plant activator. *Plant disease*, 91(7), 871-878.
- Langsrud, S., Sidhu, M. S., Heir, E., & Holck, A. L. (2003). Bacterial disinfectant resistance—a challenge for the food industry. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 51(4), 283-290.
- Lehman, S.M. (2007). Development of a Bacteriophage-Based Biopesticide for Fire Blight. Ph.D. Thesis, Brock University, St. Catharines, ON, Canada, 2007.
- Leverentz B, Conway WS, Camp MJ, et al. (2003) Biocontrol of *Listeria monocytogenes* on fresh-cut produce by treatment with lytic bacteriophages and a bacteriocin. *Appl Environ Microbiol* 69: 4519–4526.

- Lewis, R., & Hill, C. (2020). Overcoming barriers to phage application in food and feed. *Current opinion in biotechnology*, 61, 38-44.
- Lim, J. A., Jee, S., Lee, D. H., Roh, E., Jung, K., Oh, C., & Heu, S. (2013). Biocontrol of *Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum* using bacteriophage PP1. *J Microbiol Biotechnol*, 23(8), 1147-1153.
- Lin, D. M., Koskella, B., & Lin, H. C. (2017). Phage therapy: An alternative to antibiotics in the age of multi-drug resistance. *World journal of gastrointestinal pharmacology and therapeutics*, 8(3), 162.
- Lorch, A. (1999). Bacteriophages: An alternative to antibiotics. *Biotechnology and development monitor*, 39, 14-17.
- Ma, Y., Pacan, J. C., Wang, Q., Xu, Y., Huang, X., Korenevsky, A. and Sabour, P. M. (2008). Microencapsulation of bacteriophage felix O1 into chitosan-alginate microspheres for oral delivery. *Appl. Environ. Microbiol.* 74: 4799-4805.
- Marintcheva, B. (2018). Phage therapy, Harnessing the Power of Viruses- Virus-Based Therapeutic Approaches 9.1 <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-810514-6.00009-X>
- McManus, P. S. (2014). Does a drop in the bucket make a splash? Assessing the impact of antibiotic use on plants. *Current opinion in microbiology*, 19, 76-82.
- McManus, P. S., Stockwell, V. O., Sundin, G. W., & Jones, A. L. (2002). Antibiotic use in plant agriculture. *Annual review of phytopathology*, 40(1), 443-465.
- Merabishvili, M., Pirnay, J. P., Verbeken, G., Chanishvili, N., Tediashvili, M., Lashkhi, N., ... & Lavigne, R. (2009). Quality-controlled small-scale production of a well-defined bacteriophage cocktail for use in human clinical trials. *PLoS one*, 4(3), e4944.
- Moineau, S., Tremblay, D., & Labrie, S. (2002). Phages of lactic acid bacteria: from genomics to industrial applications.
- Monk, A. B., Rees, C. D., Barrow, P., Hagens, S., & Harper, D. R. (2010). Bacteriophage applications: where are we now?. *Letters in applied microbiology*, 51(4), 363-369.
- Morozova, V., Kozlova, Y., Shedko, E., Babkin, I., Kurilshikov, A., Bokovaya, O., ... & Ushakova, T. (2018). Isolation and characterization of a group of new *Proteus* bacteriophages. *Archives of virology*, 163(8), 2189-2197.
- Mosteller, T. M., & Bishop, J. R. (1993). Sanitizer efficacy against attached bacteria in a milk biofilm. *Journal of food protection*, 56(1), 34-41.
- Naanwaab, C., Yeboah, O. A., Ofori Kyei, F., Sulakvelidze, A., & Goktepe, I. (2014). Evaluation of consumers' perception and willingness to pay for bacteriophage treated fresh produce. *Bacteriophage*, 4(4), e979662.
- Nagy, J. K., Schwarczinger, I., Künstler, A., Pogány, M., & Király, L. (2015). Penetration and translocation of *Erwinia amylovora*-specific bacteriophages in apple—a possibility of enhanced control of fire blight. *European journal of plant pathology*, 142(4), 815-827.
- Nigam, A., Gupta, D., & Sharma, A. (2014). Treatment of infectious disease: beyond antibiotics. *Microbiological research*, 169(9-10), 643-651.
- Oliveira, J., Castilho, F., Cunha, A., & Pereira, M. J. (2012). Bacteriophage therapy as a bacterial control strategy in aquaculture. *Aquaculture International*, 20(5), 879-910.
- Pereira, C., Silva, Y. J., Santos, A. L., Cunha, J., Gomes, N., & Almeida, A. (2011). Bacteriophages with potential for inactivation of fish pathogenic bacteria: survival, host specificity and effect on bacterial community structure. *Marine drugs*, 9(11), 2236-2255.
- Pirnay, J. P., Merabishvili, M., Van Raemdonck, H., De Vos, D., & Verbeken, G. (2018). Bacteriophage production in compliance with regulatory requirements. In *Bacteriophage therapy* (pp. 233-252). Humana Press, New York, NY.
- Pońska, M., & Sokołowska, B. (2019). Bacteriophages—a new hope or a huge problem in the food industry. *AIMS microbiology*, 5(4), 324.
- Pujato, S. A., Quiberoni, A., & Mercanti, D. J. (2019). Bacteriophages on dairy foods. *Journal of applied microbiology*, 126(1), 14-30.
- Ramirez, K., Cazarez-Montoya, C., LopezMoreno, H. S., Castrodell Campo, N. (2018). Bacteriophage cocktail for biocontrol of *Escherichia coli* O157:H7: Stability and potential allergenicity study. *PLoS ONE*, 13(5): 1-19, doi: 10.1371/journal.pone.0195023.
- Ranjani, P., Gowthami, Y., Gnanamanickam, S. S., & Palani, P. (2018). Bacteriophages: A new weapon for the control of bacterial blight disease in rice caused by *Xanthomonas oryzae*. *Microbiol Biotechnol Lett*, 46(4), 346-59.
- Rao, B. M., & Lalitha, K. V. (2015). Bacteriophages for aquaculture: are they beneficial or inimical. *Aquaculture*, 437, 146-154.
- Robinson, R. K. (2014). *Encyclopedia of food microbiology*. Academic press.
- Rombouts, S., Volckaert, A., Venneman, S., Declercq, B., Vandenhuevel, D., Allonsius, C. N., ... & Klumpp, J. (2016). Characterization of novel bacteriophages for biocontrol of bacterial blight in leek caused by *Pseudomonas syringae* pv. *porri*. *Frontiers in microbiology*, 7, 279.
- Rossi, L. P., Almeida, R. C., Lopes, L. S., Figueiredo, A. C., Ramos, M. P., & Almeida, P. F. (2011). Occurrence of *Listeria* spp. in Brazilian fresh sausage and control of *Listeria monocytogenes* using bacteriophage P100. *Food Control*, 22(6), 954-958.
- Ryan, E.M., Gorman, S.P., Donnelly, R.F., and Gilmore, B.F. (2011). Recent advances in bacteriophage therapy: how delivery routes, formulation, concentration and timing influence the success of phage therapy. *J. Pharm. Pharmacol.* 63: 1253– 1264. doi:10.1111/j.2042-7158.2011.01324.x. PMID:21899540.
- Samtlebe, M., Ergin, F., Wagner, N., Neve, H., Küçükçetin, A., Franz, C. M., ... & Atamer, Z. (2016). Carrier systems for bacteriophages to supplement food systems: Encapsulation and controlled release to modulate the human gut microbiota. *LWT-Food Science and Technology*, 68, 334-340.
- Shafiani, S., & Malik, A. (2003). Tolerance of pesticides and antibiotic resistance in bacteria isolated from wastewater-irrigated soil. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 19(9), 897-901.
- Shahin, K., Bouzari, M., Wang, R., & Yazdi, M. (2019). Prevalence and molecular characterization of multidrug-resistant *Shigella* species of food origins and their inactivation by specific lytic bacteriophages. *International journal of food microbiology*, 305, 108252.
- Shkoporov, A. N., Khokhlova, E. V., Fitzgerald, C. B., Stockdale, S. R., Draper, L. A., Ross, R. P., & Hill, C. (2018). ΦCrAss001 represents the most abundant bacteriophage family in the human gut and infects *Bacteroides intestinalis*. *Nature communications*, 9(1), 1-8.
- Sillankorva, S. M., Oliveira, H., & Azeredo, J. (2012). Bacteriophages and their role in food safety. *International journal of microbiology*, 2012.

- Sillankorva, S., Oliveira, R., Vieira, M. J., Sutherland, I., & Azeredo, J. (2004). Bacteriophage  $\Phi$  S1 infection of *Pseudomonas fluorescens* planktonic cells versus biofilms. *Biofouling*, 20(3), 133-138.
- Singh, V. P. (2018). Recent approaches in food bio-preservation- a review. *Open veterinary journal*, 8(1), 104-111.
- Skurnik, M., Pajunen, M., Kiljunen, S. (2007). Biotechnological challenges of phage therapy. *Biotechnol Lett*, 29:995-1003; PMID: 17364214; DOI: 10.1007/s10529-007-9346-1.
- Slopek, S., Weber-Dabrowska, B., Dabrowski, M., Kucharewicz-Krukowska, A. (1987). Results of bacteriophage treatment of suppurative bacterial infections in the years 1981–1986. *Arch. Immunol. Ther. Exp. (Warsz.)* 35:569–83
- Snyder, A. B., Perry, J. J., & Yousef, A. E. (2016). Developing and optimizing bacteriophage treatment to control enterohemorrhagic *Escherichia coli* on fresh produce. *International journal of food microbiology*, 236, 90-97.
- Strydom, A., & Witthuhn, C. R. (2015). *Listeria monocytogenes*: a target for bacteriophage biocontrol. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 14(6), 694-704.
- Sukumaran, A. T., Nannapaneni, R., Kiess, A., & Sharma, C. S. (2016). Reduction of *Salmonella* on chicken breast fillets stored under aerobic or modified atmosphere packaging by the application of lytic bacteriophage preparation SalmoFresh™. *Poultry Science*, 95(3), 668-675.
- Sulakvelidze, A., Alavidze, Z., & Morris Jr, J. G. (2001). Bacteriophage therapy, *Antimicrob. Agents*.
- Sultan, K. S., Ali, T. A., Fahmy, N. A., & El-Shibiny, A. (2019). Using millimeter-waves for rapid detection of pathogenic bacteria in food based on bacteriophage. *Engineering Reports*, 1(1), e12026.
- Susianto, G., Farid, M. M., Dhany, N. R., & Addy, H. S. (2014). Host range for bacteriophages that infect bacterial blight pathogen on soybean. *Procedia Environmental Sciences*, 20, 760-766.
- Svircev, A., Roach, D., & Castle, A. (2018). Framing the Future with Bacteriophages in Agriculture. *Viruses*, 10(5), 218. doi:10.3390/v10050218
- Taj, M. K., Ling, J. X., Bing, L. L., Qi, Z., Taj, I., Hassani, T. M., ... & Yunlin, W. (2014). Effect of dilution, temperature and pH on the lysis activity of T4 phage against *E. coli* bl21. *J. Anim. Plant Sci*, 24(4), 1252-1255.
- Thung, T. Y., Premarathne, J. M. K. J. K., San Chang, W., Loo, Y. Y., Chin, Y. Z., Kuan, C. H., ... & Radu, S. (2017). Use of a lytic bacteriophage to control *Salmonella* Enteritidis in retail food. *LWT*, 78, 222-225.
- Tomat, D., Casabonne, C., Aquili, V., Balagué, C., & Quiberoni, A. (2018). Evaluation of a novel cocktail of six lytic bacteriophages against Shiga toxin-producing *Escherichia coli* in broth, milk and meat. *Food microbiology*, 76, 434-442.
- US Environ. Prot. Agency. (2005). *Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria* and *Pseudomonas syringae* pv. *tomato* specific bacteriophages; exemption from the requirement of a tolerance. *Fed. Regist.*, 70, 16700-4.
- USFDA. (2006). Food additives permitted for direct addition to food for human consumption; bacteriophage preparation. FDA, Washington, DC. <http://www.fda.gov/OHRMS/DOCKETS/98fr/cf0559.pdf>. (accessed on 13 January 2015)
- van Regenmortel, M. H., & Mahy, B. W. (Eds.). (2010). *Desk encyclopedia of general virology*. Academic Press.
- van Zyl, L. J., Abrahams, Y., Stander, E. A., Kirby-McCollough, B., Jourdain, R., Clavaud, C., ... & Trindade, M. (2018). Novel phages of healthy skin metaviromes from South Africa. *Scientific reports*, 8(1), 1-13.
- Viazis, S., Akhtar, M., Feirtag, J., et al. (2011). Reduction of *Escherichia coli* O157:H7 viability on leafy green vegetables by treatment with a bacteriophage mixture and trans-cinnamaldehyde. *Food Microbiol* 28: 149–157.
- Vonasek, E. L., Choi, A. H., Sanchez Jr, J., & Nitin, N. (2018). Incorporating phage therapy into WPI dip coatings for applications on fresh whole and cut fruit and vegetable surfaces. *Journal of food science*, 83(7), 1871-1879.
- Waldor, M. K., & Mekalanos, J. J. (1996). Lysogenic conversion by a filamentous phage encoding cholera toxin. *Science*, 272(5270), 1910-1914.
- Wall, S. K., Zhang, J., Rostagno, M. H., & Ebner, P. D. (2010). Phage therapy to reduce preprocessing *Salmonella* infections in market-weight swine. *Appl. Environ. Microbiol.*, 76(1), 48-53.
- Wang, Q. and Sabour, P. M. (2010). Encapsulation and controlled release of bacteriophages for food animal production, p. 237-255. In: P. M. Sabour and M. W. Griffiths (eds.), *Bacteriophages in the Control of Food- and Waterborne Pathogens*. Washington, DC:ASM Press.
- Wirtanen, G., Saarela, M. A. R. I. A., & Mattila-Sandholm, T. I. I. N. A. (2000). Biofilms–Impact on hygiene in food industries. *Biofilms II:Process analysis and applications*, 327-372.
- Zaman, G., Smetsers, A., Kaan, A., Schoenmakers, J., & Konings, R. (1991). Regulation of expression of the genome of bacteriophage M13. Gene V protein regulated translation of the mRNAs encoded by genes I, III, V and X. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Gene Structure and Expression*, 1089(2), 183-192.



# Farklı Yıllarda Hasat Edilen Kenevir Tohumlarının Bazı Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi

Zeynep Dumanoglu<sup>1\*</sup>, Sıdıka Ekren<sup>2</sup>, Gülsüm Öztürk<sup>3</sup>, Adem Gökçöl<sup>4</sup>, Emre İlker<sup>5</sup>, Hakan Geren<sup>6</sup>

<sup>1</sup> Bingöl Üniversitesi Ziraat Fakültesi Biyosistem Mühendisliği Bölümü, 12000, Bingöl, Türkiye (ORCID: 0000-0002-7889-9015), [zdumanoglu@bingol.edu.tr](mailto:zdumanoglu@bingol.edu.tr)

<sup>2</sup> Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü, 35100, İzmir, Türkiye (ORCID: 0000-0002-6812-9586), [sidika.ekren@ege.edu.tr](mailto:sidika.ekren@ege.edu.tr)

<sup>3</sup> Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü, 35100, İzmir, Türkiye (ORCID: 0000-0002-8701-790X), [gulsun.ozturk@ege.edu.tr](mailto:gulsun.ozturk@ege.edu.tr)

<sup>4</sup> Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tohum Teknolojisi Uygulama ve Araştırma Merkezi, 35100, İzmir, Türkiye (ORCID: 0000-0002-3866-5898)  
[adem.gokcol@ege.edu.tr](mailto:adem.gokcol@ege.edu.tr)

<sup>5</sup> Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü, 35100, İzmir, Türkiye (ORCID: 0000-0002-4870-3907), [emre.ilker@ege.edu.tr](mailto:emre.ilker@ege.edu.tr)

<sup>6</sup> Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü, 35100, İzmir, Türkiye (Orcid no:0000-0003-0426-1120), [hakan.geren@ege.edu.tr](mailto:hakan.geren@ege.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 25 Mart 2021 ve Kabul Tarihi 17 Haziran 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.902273)

**ATIF/REFERENCE:** Dumanoglu, Z., Ekren, S., Öztürk, G., Gökçöl, A., İlker, E. & Geren, H. (2021). Farklı Yıllarda Hasat Edilen Kenevir Tohumlarının Bazı Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (27), 17-21.

## Öz

Dünyada olduğu gibi Türkiye’de de endüstriyel amaçlarla üretilen kenevir (*Cannabis sativa* L.) bitkisi, pek çok sektör tarafından değerlendirilmektedir. Bu çalışma, 2021 yılında Ege Üniversitesi ve Bingöl Üniversitesi laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Farklı yıllarda hasat edilen Narlı popülasyonuna ait kenevir tohumlarının bazı fiziksel özellikleri (şekil-boyut, yüzey alan, ortalama aritmetik çap-geometrik çap, küresellik, bin dane ağırlığı) belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, bu popülasyonun Ege Bölgesi iklim, çevre ve toprak özelliklerine uyum sağladığı; ilk yıla göre ikinci yıldan elde edilen verilerin daha yüksek olduğu saptanmıştır. Belirlenen bu sonuçların ileride yapılacak olan ıslah ve mekanizasyon çalışmalarına alt yapı sağlaması amaçlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Kenevir, *Cannabis sativa* L., Tohum özellikleri, Tohum boyutları

## Determination of Some Physical Properties of Hemp Seeds Harvested in Different Years

### Abstract

The hemp (*Cannabis sativa*) for industrial purposes produced in the world of also in Turkey, are considered by many sectors. This study was carried out in 2021 in the laboratories of Ege University and Bingol University. Some physical properties (shape-size, surface area, average arithmetic diameter-geometric diameter, sphericity, thousand grain weight) of hemp seeds were determined which belonging to the Narlı population harvested in different years. According to the results, this population has adapted to the climate, environment and soil characteristics of the Aegean Region; It was determined that the data obtained from the second year were higher compared to the first year. These results are intended to provide a substructure for future improvement and mechanization studies.

**Keywords:** Hemp, *Cannabis sativa* L., Seed characteristics, Seed sizes

\* Sorumlu Yazar: [zdumanoglu@bingol.edu.tr](mailto:zdumanoglu@bingol.edu.tr)

## 1. Giriş

Kenevir (*Cannabis sativa* L.), Cannabaceae familyasına ait tek yıllık, diploid yapıya sahip bir endüstri bitkisidir. Bu familya kesin olmamakla birlikte dünyada 2 cins ve 4 tür ile temsil edilmekte olup üç türü (*C. indica*, *C. ruderalis* ve *C. sativa*) yaygın olarak bulunmaktadır (Gönen, 2009; Göre & Kurt, 2021). Ancak kenevir, ilk olarak Carlous Linnaeus tarafından 1753 yılında *Cannabis sativa* L. olarak adlandırılmış; 1785'te biyolog Jean-Baptiste Lamarck Hindistan kökenli olan ve morfolojik olarak farklar bulunan *Cannabis indica* türünü tanımlarken; 1924 yılında Janischevsky bulunan bu iki türden farklı özelliklere sahip olan *Cannabis rudelis*'i tanımlamıştır (Anderson, 1980; Gönen, 2009).

Kendir, çedene gibi faklı isimlerle de anılan kenevir, ekvatoradan kutuplara kadar çok geniş bir alan içerisinde yetişebilmektedir (Vavilov, 2009). İnsanlık tarihinde ilk kültüre alınan bitkilerden biri olarak belirtilen kenevir (Yıldırım & Koca Çalışkan, 2020), Avrasya ve Afrika'da farklı şekillerde faydalanılmış (bitkisel kaynak, ilaç hammaddesi gibi), 16.yy.'dan 18.yy.'a kadar keten ile birlikte Rusya, Avrupa ve Kuzey Amerika'da lif bitkisi (iplik, kumaş, sicim, halat vb.) olarak kullanılmış (Pounds, 2010) ancak üretimi yasal sınırlamalar ile belirlenmeye başlandıktan sonra tekstil sanayisinde kullanımından kağıt üretiminde hammadde olarak değerlendirilmeye başlanmıştır. Bu bitki ayrıca inşaat, uzay sanayisi, otomotiv sanayisi, kozmetik, gıda, plastik üretimine kadar pek çok sektör tarafından da değerlendirilmektedir (Schultes et al., 1974; Mathieu, 1980; Aytaç ve ark., 2017; Göre & Kurt, 2021). Bunların yanında, tohumları kuşyemi ya da kümes hayvanları ile balıkların beslenmesinde ve altlık ya da pelet olarak kullanımı, sabun ve deterjan yapımı ile cila, boya gibi ürünlerin de üretiminde hammadde olarak kullanıldığını eklemek gerekmektedir (Oomah et al., 2002; Gönen, 2009; Aydemir, 2017; Gün, 2019; Başer & Bozoğlu, 2020; Yıldırım & Koca Çalışkan, 2020).

Dünyada tohumluk kenevir yetiştiriciliği yıllara bağlı olarak artış göstermiş ve tohumluk kenevir, 2018 yılında yaklaşık 32 bin hektarlık alanda 143 bin tona; tohum dışı olarak ise yaklaşık 41.600 bin hektarda 60.657 tona ulaşan bir üretim kapasitesine ulaşmıştır (FAO, 2019). Tohumluk üretiminin yaklaşık %99 ile ekili alanların yaklaşık %95'i Fransa, Çin, Rusya, Şili, Macaristan ve Ukrayna tarafından karşılanmaktadır. Türkiye'de ise, 29.06.2016 tarihli Resmi Gazetede yayınlanan yönetmeliğe göre, 19 ilde (Amasya, Antalya, Bartın, Burdur, Çorum, İzmir, Karabük, Kastamonu, Kayseri, Kütahya, Malatya, Ordu, Rize, Samsun, Sinop, Tokat, Uşak, Yozgat ve Zonguldak) üretim kontrollü olarak gerçekleştirilmektedir. Ayrıca, Samsun Ondokuz Mayıs Üniversitesi ile Yozgat Bozok Üniversitelerinin bünyelerinde olmak üzere iki adet "Kenevir Araştırmaları Enstitüsü" kurulmuştur (Göre & Kurt, 2021). 2019 yılında tohumluk kullanım amacına yönelik olarak kenevir üretimi yaklaşık 536 dekar ve 20 ton üretime; tohumluk dışına yönelik kullanım için ise 141 dekar ve 18 tona ulaşılmıştır (TÜİK, 2020). Ayrıca 2019 yılında gerçekleştirilen "Türkiye'de Endüstriyel Kenevir Yetiştiriciliği Raporu ve Eylem Planı"na göre; kısa vade içerisinde kenevir tohumlarında yerli popülasyonların artırılması ve bunların tescil edilmesi, tohum çoğaltma işlemlerinin gerçekleştirilmesi ile sertifikalı tohum kullanımına geçilerek kenevire dayalı sanayi ve mekanizasyon sistemlerinin geliştirilmesi, öncelikli yatırım alanlarının belirlenmesi şeklinde kararlar alınmıştır (Başer & Bozoğlu, 2020). Günümüze kadar yerli popülasyonların geliştirilmesine yönelik yapılan çalışmalar hız kazanmış, mevcut çeşitler,

seleksiyon, melezleme, hibrit ıslahı ve markör destekli seleksiyon gibi geleneksel yöntemlerden de faydalanılmaktadır (Yaman, 2020).

Kenevir, 1.5-2 m'ye kadar inebilen kazık kök yapısına sahiptir. Ağaç ya da çalı şekillerinde olabildiği gibi, tek bir daldan da oluşabilmektedir. İki evcikli (dişi ve erkek ayrı olan) yapıya sahip olduğundan bitkinin genel formu da buna bağlı olarak değişiklik (sap kalınlıkları ve uzunlukları) gösterebilmektedir. Birleşik yaprak yapısına sahip olan bu bitkide bir yaprakta 3-11 adet yaprakçık (1-2 cm genişliğinde, 5-12 cm uzunluğunda) bulunabilmektedir. Tek sayıda olan bu yaprakçıklar mızrak ya da mekik şeklinde yeşil ve kenar kısımları dişilidir. Bitki boyu yetiştirilme şartlarına ve çeşit özelliklerine bağlı olarak yaklaşık 50-300 cm arasında değişmektedir (Göre & Kurt, 2021).

Kenevir bitkisi, havadar, organik maddece zengin, 6-7.5 pH değerine sahip olan toprakları tercih etmektedir. Kısa gün bitkisi olması nedeniyle, günlerin 12 saatten az olduğu zaman aralığında çiçeklenmektedir. Bu durum göz önüne alınarak erken ekiminin yapılması ile vejetatif büyüme dönemi uzatılarak bitki daha dayanıklı ve güçlü yapıya sahip olmaktadır. Tohumluk üretimi için 30-40 cm, lif üretimi içinse 20-25 cm sıra aralığında ekim yapılmaktadır (İncekara, 1979; Göre & Kurt, 2021). Buğday ekimi içinde kullanılan pnömatik ekim makinaları ile lif üretimi için 160 bitki/m<sup>2</sup>, tohumluk üretimi için 120 bitki/m<sup>2</sup> olacak şekilde lif üretimi için 3.5-4 kg/da, tohum üretimi içinse 2.5-3 kg/da tohum kullanılarak ekim işlemi gerçekleştirilebilmektedir (Gizlenci ve ark., 2019; İbiş, 2020). Yıllık yağış miktarı yeterli olan bölgelerde (yaklaşık 700 mm) sulama ihtiyacı olmazken, kurak bölgelerde iyi bir verim elde edebilmek için gelişme periyodu boyunca 2-4 defa sulamanın yapılması önerilmektedir (Garcia-Tejero et al., 2014).

Kenevir tohumlarında yaklaşık %30-35 oranında yağ bulunmaktadır (İncekara, 1979; Er & Yıldız, 2014; Gizlenci ve ark., 2019). Ayrıca %20-25 oranında protein, %20-35 oranında karbonhidrat, %10-15 oranında lif, fitokannabinoitler ve terpenoitlerce çok zengin vitamin ve mineralleri (E vitamini, Thiamine (B1), Riboflavin (B2), Fosfor, Potasyum, Demir, Magnezyum, Çinko, Bakır) bünyesinde bulundurmaktadır (Yıldırım & Koca Çalışkan, 2020; Göre & Kurt, 2021). Kenevir bitkisinin, tohumlarının yanında kök, çiçek, yaprakları, sap ve gövdesi de değerlendirilmektedir. Özellikle ilaç üretim sanayisinin ilgi odağında olan kenevir, yapılan araştırmalara göre; antienflamatuvar, antipiretik, analjezik etkilerinin ve antioksidan aktivitelere neden olduğu belirlenmiştir (Aswar et al., 2010; Antonisamy et al., 2015).

Bu çalışmada, kenevir (*Cannabis sativa* L.) tohumlarına ait bazı fiziksel özellikleri belirlenmiştir. Bitkisel üretimde ekimden hasada ve sonrasında ürün işleme basamaklarında dahi tohumun özelliklerinden faydalanılmaktadır. Başarılı bir bitkisel üretim için kaliteli ve sertifikalı tohumluk kullanımı gereklidir. Bu tohumlukların yetiştirilmesinde ve sorasında sınıflandırılarak paketlenmektedir. Boyutlarına göre ayrılan tohumluklarında üreticiye ulaştırılmasında ticari firmalar farklı fiyat politikaları uygulayabilmektedir. Çünkü üretici almış olduğu tohumlukların miktarına göre dekar ya da hektara ne kadar tohum atacağını ve de bunu hangi tür bir ekim makinesi ile gerçekleştireceğini üretim dönemi öncesinde belirlemektedir. Bu nedenle, her bir bitki türünü temsil eden tohumların özellikleri ayrıca önem taşımaktadır. Bunların yanında yapılan ve yapılacak olan ıslah çalışmalarında tohum özellikleri göz önüne alınarak üreticilerin en yüksek verimi elde edebilecekleri, biyotik ve abiyotik şartlara

dayanımları yüksek çeşitlerin geliştirilmesine dair araştırmalar yönlendirilmekte ve gerekli yatırımlar yapılmaktadır.

## 2. Materyal ve Metod

Bu çalışma, 2021 yılında Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla bitkileri Bölümü deneme alanı, Ege Üniversitesi Tohum Teknolojisi Uygulama ve Araştırma Merkezi ve Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği ile Bingöl Üniversitesi Ziraat Fakültesi Biyosistem Mühendisliği bölümlerine ait laboratuvarlarda yürütülmüştür. Bu çalışmada incelenen Narlı popülasyonuna ait kenevir (*Cannabis sativa* L.) tohumu Samsun Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Öğretim Üyelerinden Sayın Prof. Dr. Selim AYTAÇ'dan temin edilmiştir. Daha sonra Ege Üniversitesi deneme parsellerinde (enlem:38°27'N; boylam: 27°13'E, rakım:29m) ekim işlemleri Mart ayı içerisinde gerçekleştirilmiştir. Tohumlar ilk yıl Ekim 2019'da, ikinci yıl Eylül 2020 tarihlerinde hasat edilmiş ve tohumların bu dönem içerisinde yapılan çimlenme testlerinde %98 ve %99 çimlenme yeteneğine sahip olduğu belirlenmiştir. Bu işlemlerin ardından tohumlar kontrollü şartlar altında (yaklaşık 24 °C, nemsiz-kuru, karanlık ortamda cam kavanozlar içerisinde) depolanmıştır.

Tohumlar tesadüf parselleri deneme desenine göre rastgele olacak şekilde örneklenmiş ve bu tohumlara ait bazı fiziksel (şekil-boyut, yüzey alan, ortalama aritmetik-geometrik çap, küresellik ve bin dane ağırlığı) özellikleri belirlenerek, elde edilen değerler temel istatistik parametrelere (minimum-ortalama-maksimum-standart sapma) göre değerlendirilmiştir.

### 2.1. Kenevir tohumlarına ait bazı fiziksel özellikler

Her tohumun kendisine ait bazı temel özellikleri (uzunluk (mm), genişlik (mm) ve kalınlık (mm) bulunmaktadır. Bitkilerin yetiştirildiği yer başta olmak üzere iklim farklılıkları, toprak özelliklerine (pH, tuzluluk, kuraklık vb.) ve genotip farklılıklara bağlı olarak tohumların özellikleri de değişim göstermektedir (Dumanoglu ve ark., 2021). Yapılan araştırmalara (Yağcıoğlu, 2015) bağlı olarak belirlenen temel parametrelere göre tohumların geometrik (uzun-orta-kısa) ve şekil (yuvarlak-oval-uzun) özellikleri sınıflandırılmaktadır (Tablo 1). Ayrıca belirlenen bu temel özelliklerden faydalanılarak tohumlara ait ortalama aritmetik ve geometrik çap (mm), küresellik gibi diğer verilerde aşağıda belirtilen eşitlikler yardımı ile belirlenebilmektedir (Alayunt, 2000; Kara, 2012; Mohsenin,

1970). Tüm bu değerler kullanılarak, tohumların en az kayıpla tohum yatağına bırakılmaları sağlanmaktadır. Uygun ekici düzen ve ekim makinasının seçilmesi ile başarılı bir ekim işlemi gerçekleştirilebilmekte ayrıca ürün işleme basamağında, tohumların sınıflandırılarak ayrılması ve paketleme işlemleri tamamlanması sağlanmaktadır.

Bu çalışmada; iki ayrı yıldan ayrı ayrı rastgele olacak şekilde örneklenen kenevir tohumlarının (*Cannabis sativa* L.) içerisinde 100'er adet tohum seçilmiş ve kendine ait yazılımı (Image Focus 4.0 v2.4) olan stereo mikroskop (Nexius Zoom) ile tohumlara ait temel özellikler belirlenmiştir (Dumanoglu & Çakmak, 2019; Dumanoglu & Geren, 2020). Ayrıca her yıla ait kenevir tohumlarının 1000 dane sayımları üçer tekrarlı olacak şekilde yapılmış ve Radwag AS 220.R2 analitik terazi (0.0001 g hassasiyetine) ile tartım işlemleri tamamlanmıştır (ISTA, 2007; Dumanoglu & Mokhtarzadeh, 2020).

Tablo1. Tohumların geometrik ve şekil özelliklerine göre sınıflandırılması

Geometrik özelliklerine göre tohumlar	Tane genişliği/Tane uzunluğu (b/a) (mm)	Şekil özelliklerine göre tohumlar	Uzunluk (a), Genişlik (b), Kalınlık (c) (mm)
Uzun	0.6	Yuvarlak	$a \approx b \approx c$
Orta	0.6 – 0.7	Oval	$a/3 < b \approx c$
Kısa	> 0.7	Uzun	$c < b < a/3$

Ortalama Aritmetik Çap:

$$D: (L + W)/2 \quad (1)$$

D: Tohuma ait ortalama aritmetik çap (mm)

L: Tohuma ait uzunluk değeri (mm)

W: Tohuma ait genişlik değeri (mm)

Ortalama Geometrik Çap:

$$D_0: (L * D^2)^{1/3} \quad (2)$$

D<sub>0</sub>: Tohuma ait ortalama geometrik çap (mm)

L: Tohuma ait uzunluk değeri (mm)

D: Tohuma ait ortalama aritmetik çap (mm)

Küresellik:

$$\Phi: D_0/L \quad (3)$$

Φ : Tohumun küresellik değeri

D<sub>0</sub> : Tohum ortalama geometrik çap (mm)

L : Tohum uzunluğu (mm)

Tablo 2. Kenevir tohumlarına ait bazı fiziksel özellikler

Tohum özellikleri	1. yıl				2. yıl			
	Min.	Ort.	Mak.	Stdv.	Min.	Ort.	Mak.	Stdv.
Uzunluk (mm)	6.929	8.620	10.339	0.720	6.031	7.690	8.935	0.688
Genişlik (mm)	5.226	6.408	7.725	0.548	4.970	6.110	6.950	0.478
Yüzey alan (mm <sup>2</sup> )	31.580	43.703	59.530	6.523	24.550	37.635	48.722	5.288
Ortalama Aritmetik Çap (mm)	6.394	7.514	9.032	0.591	5.514	6.900	7.853	0.518
Ortalama Geometrik Çap (mm)	94.412	165.262	281.142	39.772	61.123	124.203	180.682	27.898
Küresellik	13.626	18.937	27.192	2.990	10.135	15.959	20.554	2.337
Bin dane ağırlığı (g)	16.100	17.075	18.900	1.276	13.300	13.775	14.400	0.457

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

#### 3.1. Kenevir tohumlarına ait bazı fiziksel özellikler

Kenevir bitkisine (*Cannabis sativa* L.) ait tohumların özelliklerine dair elde edilen sonuçlar temel istatistik parametrelere göre değerlendirdiğimizde; tohumların ölçülerinin ilk seneye göre ikinci senede arttığı belirlenmiştir (Tablo 2). Ayrıca, tohumların kısa ve oval bir tohum yapısına sahip olduğu belirlenmiştir. Gönen (2009)'ün yapmış olduğu çalışmada kenevir tohumlarının oblong-eliptik yaklaşık 3-6 mm boyutlarında (9 farklı yöreden gelen kenevir tohumlarının uzunluk ve genişlik ölçülerini 2-5.5 mm arasında değiştiğini) olduğunu belirtirken; bu çalışmada incelenen kenevir tohumlarının oval bir yapıya sahip olmaları paralellik göstermiş ancak tohum ebatları farklı ölçülmüştür. Benzer durum, Gün (2019)'ün yapmış olduğu çalışmada kenevir tohumlarının boyutlarının 4 mm uzunluk ve 3 mm genişlik olarak gözlenmiş; İncekara (1979) ise, 4-6 mm uzunluk ve 3-3.5 mm genişliğe sahip olduğunu belirtmişlerdir ancak bu çalışmada incelenen tohum boyutlarının yaklaşık 2 kat daha yüksek değerlere sahip olduğu belirlenmiştir. Bu durum çalışmada incelenen Narlı popülasyonunun Ege Bölgesi iklim ve çevre koşullarına adaptasyonun iyi olduğunu ve bu durumun verime doğrudan olumlu yönde etki edeceğini ortaya koymaktadır.

İncekara (1979), Gönen (2009) ve Gün (2019) yaptıkları çalışmalarında kenevir tohumlarının ağırlıklarının Türkiye'de 12-30 g, diğer ülkelerde ise 14-22 g arasında bin dane ağırlığına sahip olduğunu belirlemişlerdir. Bu çalışmada, tohumların bin dane ağırlıkları 1. yıl için ortalama 17.075 g, 2. yıl için ortalama 13.775 g olarak tartılmış ve önceki yapılan araştırmalar ile örtüştüğü saptanmıştır.

#### 4. Sonuç

Bu çalışmada, iki yıl boyunca gerçekleştirilen bitkisel üretim sonunda elde edilen kenevir (*Cannabis sativa* L.) bitkisine ait tohumlar incelenmiştir. Rastgele olacak şekilde örneklenen bu tohumların bazı fiziksel özellikleri belirlenmiştir. Elde edilen veriler yıl bazında temel istatistik parametreler göz önüne alınarak değerlendirilmiştir. Buna göre; ikinci yılda elde edilen tohumların ilk yıla oranla çok daha yüksek değerlere sahip olduğu belirlenmiştir. Bu durum, çalışmada bitkisel materyal olarak kullanılmış olan Narlı popülasyonunun Ege bölgesi iklim, çevre ve toprak özelliklerinden maksimum fayda sağladığını ortaya koymuştur. İleride yapılacak olan ıslah çalışmalarında çevreye olan adaptasyon yeteneği göz önüne alınarak, endüstriyel anlamda kenevir üretiminin mekanizasyon yardımı ile gerçekleştirilmesini olanaklı kılmaktadır.

#### Kaynakça

Alayunt, F.N. (2000). Biyolojik Malzeme Bilgisi, Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makineleri Bölümü Ders Kitabı, Ege Üniv. Ziraat Fak. Yayınları No: 541.

Anderson, L.C. (1980). Leaf variation among *Cannabis* species from a controlled garden. Botanical Museum Leaflets. Harvard University. 28(1):61-69.

Antonisamy, P., Duraipandiyar, V., Ignacimuthu, S. & Kim, J.H. (2015). Anti-diarrhoeal activity of friedelin isolated from *Azima tetraantha* lam. in wistar rats. South Indian Journal of Biological Sciences. 1(1):34-37.

Aswar, U.M., Ehasaran, S., Mohan, V. & Bodhankar, S.L. (2010). Estrogenic activity of friedelin rich fraction (INDHE) separated from *Cissus quadrangularis* and its effect on female sexual function. Pharmacognosy Research. 2(3):138.

Aydemir, T. (2017). Farklı tarımsal artıkların kullanılarak hazırlanan karışım peletlerinde kenevir sapı kullanımının pelet kalite özellikleri üzerine etkisi. Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Biyosistem Mühendisliği ABD, Yüksek Lisans Tezi, Tekirdağ.

Aytaç, S., Ayan, A.K. & Arslanoğlu, Ş.F. (2017). Ketten-Kendir-Isrgan. Endüstriyel Tip Kenevir Yetiştiriciliği Karadeniz Lif Bitkileri Çalıştayı (5-6 Mayıs). S.27-35, Samsun.

Başer, U. & Bozoğlu, M. (2020). Türkiye'nin kenevir politikası ve piyasasına bir bakış. TEAD. 6(2):127-135.

Dumanoğlu, Z. & Çakmak, B. (2019). Tohum Uygulamalarının Soğan (*Allium cepa* L.) Tohumunun Bazı Fiziksel ve Mekanik Özelliklerine Etkisi, Bursa Uludağ Üniv. Ziraat Fakültesi Dergisi, 33(1), ISSN: 1301-3165.

Dumanoğlu, Z. & Geren, H. (2020). An Investigation on Determination of Seed Characteristics of Some Gluten-Free Crops (*Amarantus mantegazzianus*, *Chenopodium quinoa* Willd., *Eragrostis tef* [Zucc] Trotter, *Salvia hispanica* L.). *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*. 8(8), 1650-1655.

Dumanoğlu, Z. & Mokhtarzadeh, S. (2020). Türkiye'de Kültürü Yapılan *Salvia* Türlerine (*Salvia hispanica* L., *Salvia tomentosa* Mill. ve *Salvia verticillata* L.) Ait Tohumların Bazı Fiziksel Özellikleri, Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi 7(3): 596-602.

Dumanoğlu, Z., Çaçan, E. & Kökten K. (2021). Korunga (*Onobrychis vicifolia* Scop.) genotiplerine ait tohumların fiziksel özelliklerinin belirlenmesi. *Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences*. 6(1):18-24.

Er, C. & Yıldız, M. (2014). *Keyf Bitkileri*. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları. Yayın No: 1616, Ankara.

FAO (2019). Food and Agriculture Organization of Hemp Cultivation and Production Statistical Data. (FAOSTAT).([www.fao.org/faostat/](http://www.fao.org/faostat/))

Garia-Tejero, I.F., Durán Zuazo V.H., Pérez-Álvarez, R., Herández, A., Casano S., Morón, M. & Muriel, J.L. (2014). Impact of plant density and irrigation on yield of hemp (*Cannabis sativa* L.) in a Mediterranean semi-arid environment. *Journal of Agriculture Science Technology*. 16:887-895.

Gizlenci, Ş., Acar, M., Yiğit, Ç. & Aytaç, S. (2019). Kenevir tarımı. TC. Tarım ve Orman Bakanlığı Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü Karadeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Samsun.

Göre, M & Kurt, O. (2021). Bitkisel üretimde yeni bir trend: Kenevir. *International Journal of Life Sciences and Biotechnology*. 4(1):138-157.

Gönen, S. (2009). *Cannabis sativa* L. bitkisinin morfolojisi ve anatomisi üzerine bir araştırma. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji ABD. Yüksek Lisans Tezi, İzmir.

Gün, M. (2019). Türkiye kenevir (*Cannabis sativa* L.) genotiplerinin morfolojik karakterizasyonu. Samsun Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarla Bitkileri ABD. Yüksek Lisans Tezi, Samsun.

İbiş, D.S. (2020). Samsun ili kenevir işletmelerinde mekanizasyon kullanım durumu ve kenevir tarımı swot analizi, Samsun Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makinaları ve Teknolojileri ABD, Yüksek Lisans tezi, Samsun

International Rules for Seed Testing (ISTA). (2007). International Rules for Seed Testing Book.

İncekara, F. (1979). *Endüstri Bitkileri ve Islahı*. Ege Üniversitesi

- Ziraat Fakültesi Yayınları, Yayın No: 65, İzmir.
- Kara, M. (2012). *Biyolojik Ürünlerin Fiziksel Özellikleri*, Atatürk Üniv. Ziraat Fakültesi Yayınları No: 242.
- Mathieu, J.P. (1980). Chanvre. *Techniques Agricoles*. 5:1-10.
- Mohsenin, N.N. (1970). *Physical Properties of Plant and Animal Materials*. Gordon and Breach Science Publishers.
- Oomah, B.D., Busson, M., Godfrey, D.V. & Drover, J.C.G. (2002). Characteristics of hemp (*Cannabis sativa* L.) seed oil. *Food Chem*. 76:33-43.
- Pounds, N.J.G. (2010). *An Historical Geography of Europe*. Cambridge University Press.
- TÜİK. (2020). Türkiye İstatistik Kurumu, Bitkisel Üretim İstatistikleri. (<https://biruni.tuik.gov.tr/medas/>)
- Schultes, R.E., Klein, W.M., Plowman, T. & Lockwood, T.E. (1974). *Cannabis*: An example of taxonomic neglect. *Botanical Museum Leaflets*. Harvard University. 23(9):337-367.
- Vavilov, N.I. (2009). *Orijin and Geograph of Cultvated Plants*. Cambridge University Press. P:22-135.
- Yağcıoğlu, A. (2015). Ürün İşleme, Ege Üniversitesi Yayınları Ziraat Fakültesi Yayın No: 517, Genişletilmiş 2. Baskı.
- Yaman, C. (2020). *Cannabis sativa* L. (Kenevir)'de *in vitro* mikro çoğaltım. *Sürdürülebilir Mühendislik Uygulamaları ve Teknolojik Gelişmeler Dergisi*. 3(3):54-62.
- Yıldırım, S. & Koca Çalışkan U. (2020). Kenevir ve Sağlık Alanında Kullanımı. *Ankara Ecz. Fak.Derg*. 44(1):112-136.





# Analysis of Historical Structures with Finite Elements Method

Filiz Karakuş<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> Ankara Yıldırım Beyazıt University, Faculty of Architecture and Fine Arts, Department of Architecture, Ankara, Turkey, (ORCID: 0000-0002-7562-3435), fkarakus@ybu.edu.tr

(First received 27 April 2021 and in final form 15 August 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.928680)

**ATIF/REFERENCE:** Karakuş, F. (2021). Analysis of Historical Structures with Finite Elements Method. *European Journal of Science and Technology*, (27), 22-35.

## Abstract

Historical masonry structures are important parts of our cultural heritage and the transfer of these structures to future generations is one of the most important problems in the field of conservation. These structures can be damaged by long-term natural events or sudden natural causes such as earthquakes, floods, avalanches, as well as adverse environmental conditions and human-based reasons. Finite element analysis is the most appropriate method for the structural analysis of historical masonry structures, which have survived until today and are the magnificent structures of the periods they were built. The load bearing behavior of historic masonry structures is quite different and complex from other structures due to the elements and materials that make up the structural system. In this study, calculations and results based on finite element method are presented in order to determine the structural behavior of Cenabi Ahmet Pasa Tomb located in Ulucanlar Street in Ankara Province, Altındağ District in the face of a possible earthquake and to determine the earthquake resistance.

**Keywords:** Historical masonry structure, finite elements, Cenabi Ahmet Pasha Tomb.

## Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Tarihi Yapıların Analizi

### Öz

Tarihi yığma yapılar kültürel mirasımızın önemli parçaları olup bu yapıların gelecek kuşaklara aktarılması koruma alanındaki en önemli sorunlardan birisidir. Bu yapılar uzun süreli doğa olayları ya da deprem, sel, çığ gibi aniden oluşan doğal nedenlerle olduğu gibi olumsuz çevre koşulları ve insan kaynaklı nedenlerle de bozulabilmektedir. Günümüze kadar varlıklarını sürdüren ve yapılmış oldukları dönemlerin görkemli yapıları olan tarihi yığma yapıların yapısal çözümlemesi için en uygun yöntem sonlu elemanlar analizidir. Tarihi yığma yapıların yük taşıma davranışı, yapısal sistemi oluşturan elemanlar ve malzemeler nedeniyle diğer yapılardan oldukça farklı ve karmaşıktır. Bu çalışmada Ankara İli, Altındağ İlçesi Ulucanlar Caddesi'nde bulunan Cenabi Ahmet Paşa Türbesi'nin olası bir deprem karşısında yapısal davranışının belirlenmesi ve deprem dayanımının saptanması amacıyla sonlu elemanlar yöntemine dayalı olarak yapılan hesaplamalar ve sonuçları sunulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Tarihi yığma yapı, sonlu elemanlar, Cenabi Ahmet Paşa Türbesi.

\* Corresponding Author: [fkarakus@ybu.edu.tr](mailto:fkarakus@ybu.edu.tr)

## **1. Introduction**

The historical, architectural and artistic value of each of the historical masonry structures is different, as well as the material properties, construction techniques, structural system properties and the destructive effects they are exposed to. In historical masonry structures, the carrier system consists of foundations, walls, columns, pillars, floors, arches, vaults, domes and other roof (roof, wooden roof, etc.) elements. We see that materials such as wood, stone, brick, adobe and mortar as binders are widely used in these buildings (Karakuş: 2019).

Historical buildings have a very complex load-bearing behavior due to the intense and continuous interaction of domes, vaults, arches, columns and walls that form the carrier system (Keypour et al: 2007). The structural behavior of historical buildings depends on the material properties, form and dimensions used and the combination of different elements (Croci: 1998).

Structural analysis of historical masonry structures differs from the analysis and calculations made for new structures and the reasons mentioned above make it difficult to analyze these structures structurally (Ünay: 2002). In these structures, uncertainties about the physical and mechanical properties of materials such as stone, brick, and mortar that form the carrier system also reduce the reliability of the results of the analysis.

In order to determine the load-bearing system behavior of historical buildings, many criteria such as the geometric form of the building, the materials used and the loads affecting the structure, and the foundation and ground condition should be considered.

The most appropriate method to be used to determine the structural performance of historical buildings is numerical analysis (Mainstone: 1997). Structural system behavior and performance of historical buildings are determined by numerical method in three stages. In the first stage, a model of the building is prepared mathematically. In the second stage, a numerical analysis is made against the loads affecting the structure by using an appropriate analysis method. The results obtained after this stage are evaluated. However, it is very important that the evaluations made at this stage are understood by disciplines other than engineering (Can and Ünay: 2012). The conservation of cultural and architectural heritage is a field that is of interest to many disciplines such as architecture, engineering, art history, archeology and requires collaboration. For this reason, it is very important that the results obtained are understood by experts working in fields other than engineering.

The bearing systems of the historical masonry structures, which have survived until today and are the magnificent structures of the times they were built, differ from today's modern structures. For these reasons, the most appropriate method for structural analysis of these structures is finite element analysis (Can et al: 2012; Croci: 1998).

Numerical modeling can be defined as the conversion of structural system components made of different materials and having variable cross-section geometry into mathematical terms in a correct and harmonious manner according to the basic rules of mechanics (Can et al: 2012). Unlike modern buildings, historical buildings, which have irregular plan geometry, are built as a whole without dilatation, especially in parts that differ in

mass and height, especially in parts where the mass difference is large during an earthquake and these cracks affect the seismic behavior of the structure (Betti and Vignoli: 2008).

There are two approaches to modeling masonry structures: micro modeling and macro modeling. In micro modeling technique, mortar used as binder and stone or brick material are modeled separately, while in macro modeling, the materials are modeled as a single material, not separately. In the micro modeling approach, the stresses and load flow that lead to a decrease in stiffness can be observed. Since the mortar in the joints is weaker than the masonry units, the micro modeling technique, which is a method that focuses on the joints, is a method preferred for the detailed analysis of a part of the structures or structures that are not large. In this method, since the mechanical properties of the mortars need to be fully known, a detailed material study is required before modeling (Lourenço: 2006; Saraç: 2003). Difficulties are encountered due to the lack of experimental data on macro models and the complexity of non-isotropic material behavior. In some studies, using anisotropic material behavior and the concept of plasticity, applications that show different hardening / softening properties in different directions give very good results (Lourenço: 2006). Numerical modeling can be defined as the conversion of structural system components made of different materials and having variable cross-section geometry into mathematical terms in a correct and harmonious manner according to the basic rules of mechanics (Can et al: 2012). Unlike modern buildings, historical buildings, which have irregular plan geometry, are built as a whole without dilatation, especially in parts that differ in mass and height, especially in parts where the mass difference is large during the earthquake and these cracks affect the seismic behavior of the structure (Betti and Vignoli: 2008).

In the finite element method, which was developed as a result of the developments in computer technology and the desire to transfer the problems to the computer environment, the main logic is to divide the whole into a finite number of elements and explain the general behavior of the system in detail with the reactions of the elements that make up the system. For the accuracy of the solution in the finite element method, the modeling should be done correctly and the behavior of each element should be represented in the most realistic way (Şenel: 1996). In this method, which is preferred in terms of time and economy, it is possible to use different building element models such as rod, plate, shell or solid together.

In this study, the results of the calculations made based on finite element method in order to determine the structural behavior of the Cenabi Ahmet Pasa Tomb located in Ulucanlar Street in Ankara Province, Altındağ District against a possible earthquake and to determine the earthquake resistance are presented. However, general assumptions were made regarding the properties of the materials during modeling, since analyzes could not be performed in the laboratory environment to determine the physical and mechanical properties of the stone, brick and mortar materials that make up the building. This situation constitutes the limitations of the study.

## **2. Analysis of Cenabi Ahmet Pasa Tomb with Finite Element Method**

Cenabi Ahmet Pasa Tomb was built in 1565-66 and is located in the same courtyard with the mosque with the same name and

Azimi Hacı Esat Tomb (Figure 1). The octagonal planned building is made of cut stone in a masonry system and its dome is lead-plated (Figure 2). The mass features, plans and facades of the

tomb reflect the characteristics of the Ottoman tombs (Figure 3) (Başkan:1998).



Figure 1. Cenabi Ahmet Pasa Tomb view from the courtyard

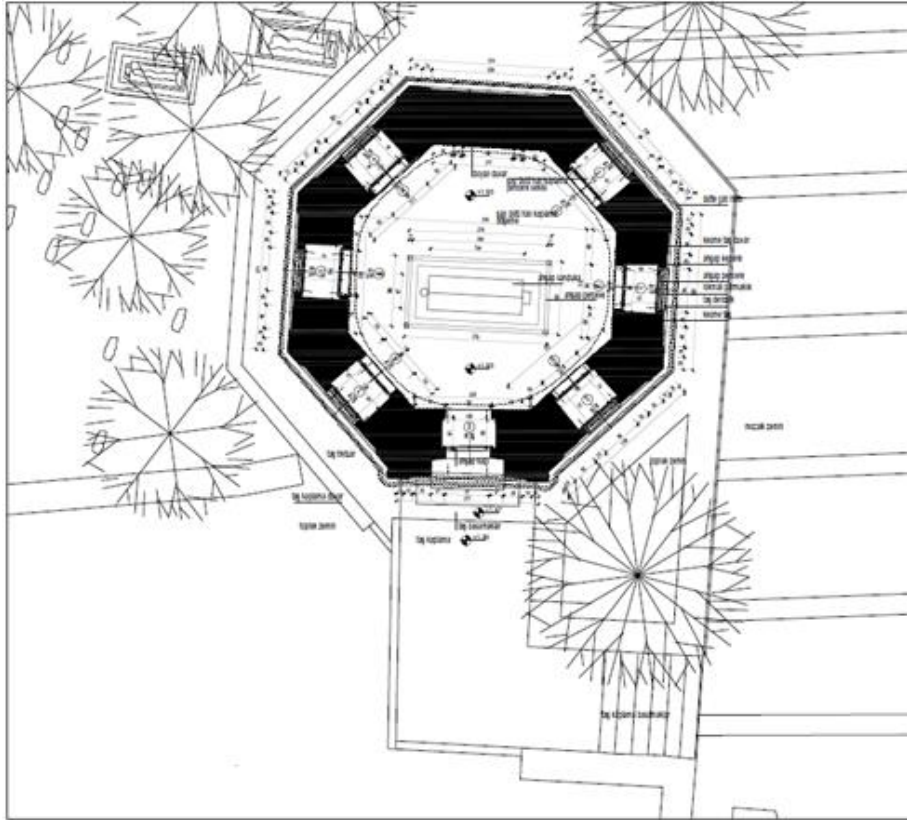


Figure 2. Plan of Cenabi Ahmet Pasa Tomb

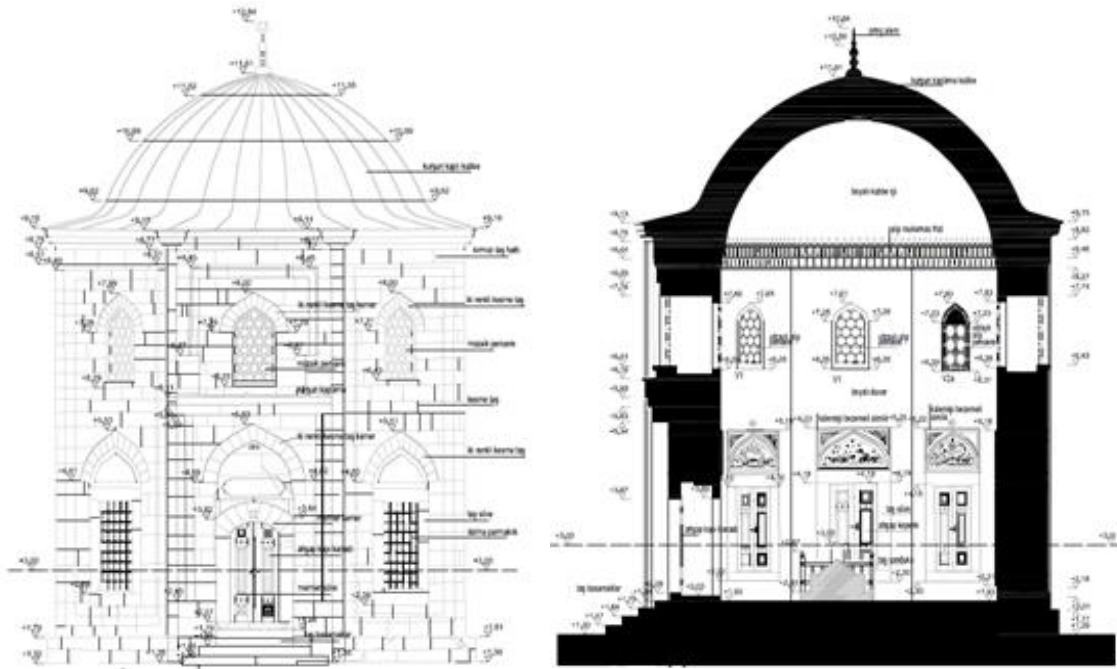


Figure 3. Cenabi Ahmet Pasa Tomb, north facade and F-F Section

Structural analysis of Cenabi Ahmet Pasha Tomb was made by using the SAP2000 program with finite element analysis method. This method starts with the digital modeling of the whole or part of the building. During this process, which is called the decomposition of the structure, the structure is divided into shapes and numbers of elements suitable for the purpose of the method used (Vintzileou: 2007). The purpose of digital modeling is to determine the behavior of the elements that make up the structural system of the building under various loads or effects. Since the carrier system in historical buildings is often complex, some simplifications are required during the modeling of the building. For this, the mechanical properties of the materials that make up the carrier system must be defined correctly (Can and Ünay: 2012).

In this study, the mathematical model of the building was created by using the existing survey projects. The dome and walls of the building are modeled with SHELL elements (Figure 4). In the study, the properties of the materials that make up the carrier system were selected by taking into account the values obtained in previous similar studies and recommended for masonry structures in the current Earthquake Regulation (Turkey Building Earthquake Regulation). It has been accepted that stone and brick materials have the characteristics of a single material together with the mortar used, and the elasticity module and unit weight assumptions were made accordingly. In addition, two different loading cases are considered in which the effects caused by the constant loads and ground motion defined by the earthquake spectrum are taken into account. Spectrum was applied in two different directions as Qx and Qy.

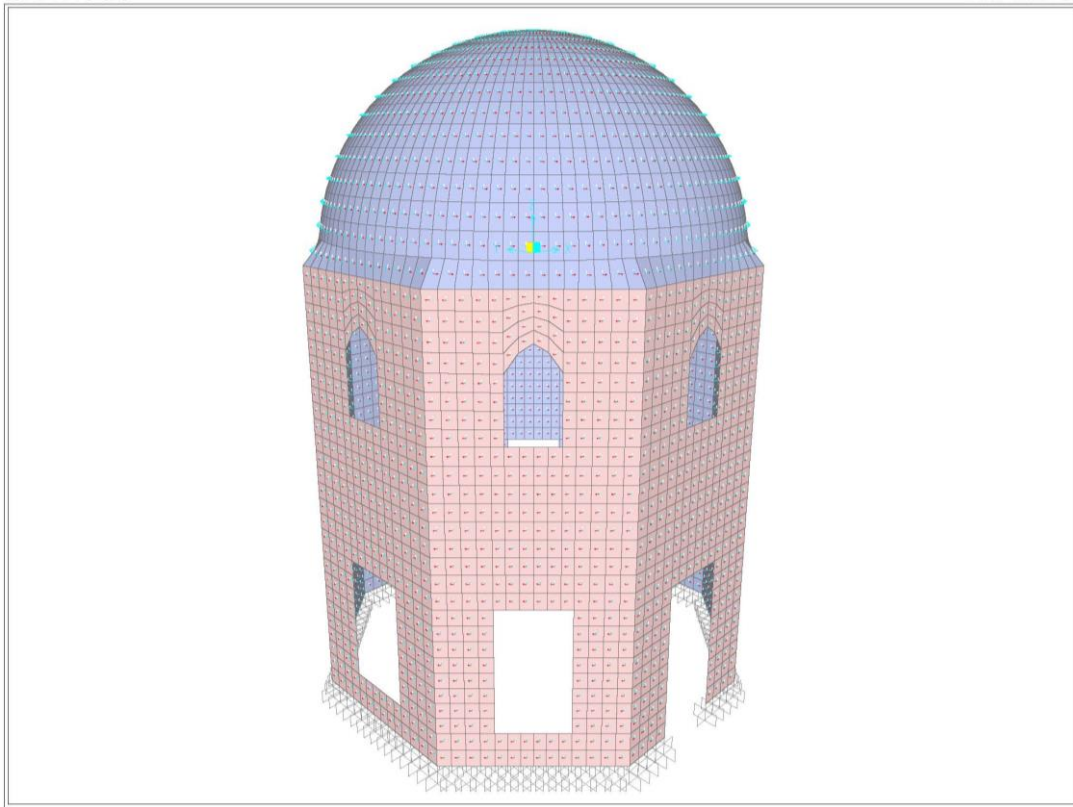


Figure 4. Cenabi Ahmet Pasa Tomb SAP2000 modeling

In the structural analysis model, the shell element direction indicated with red arrows indicates 11 horizontal direction, and the direction indicated with white arrows indicates 22 vertical direction. Since there is no exact data about the ground, the foundation of the building is not shown in the model and it is accepted that the superstructure works with the foundation. The walls and the dome are made of different materials. Therefore,

different material properties are defined for both. 450 MPa was used as material elasticity for stone walls and 1200 MPa for brick dome.  $24 \text{ kN} / \text{m}^3$  was used for the unit volume weight of both materials and  $2.4473 \text{ ton} / \text{m}^3$  was used as the unit volume mass. These material parameters used are entered in the define / materials section in SAP2000 as follows (Figure 5).

General Data	
Material Name and Display Color	TAŞ DUVAR <span style="color: blue;">■</span>
Material Type	Other
Material Notes	Modify/Show Notes...
Weight and Mass	
Weight per Unit Volume	24
Mass per Unit Volume	2.4473
Units	
KN, m, C	
Isotropic Property Data	
Modulus of Elasticity, E	450000
Poisson's Ratio, U	0.2
Coefficient of Thermal Expansion, A	9.900E-06
Shear Modulus, G	187500

General Data	
Material Name and Display Color	TUĞLA <span style="color: green;">■</span>
Material Type	Other
Material Notes	Modify/Show Notes...
Weight and Mass	
Weight per Unit Volume	24
Mass per Unit Volume	2.4473
Units	
KN, m, C	
Isotropic Property Data	
Modulus of Elasticity, E	1200000
Poisson's Ratio, U	0.2
Coefficient of Thermal Expansion, A	9.900E-06
Shear Modulus, G	500000

Figure 5. SAP2000 material definitions

Cenabi Ahmet Pasa Tomb is located in Ankara Province, earthquake zone (Figure 6). Accordingly, the effective ground Altındağ District. In the earthquake map prepared by the Earthquake acceleration in Turkey earthquake codes are expressed in 0.1 g Research Department, Altındağ is located in the 4th degree (Turkey Building Earthquake Regulation).



acceleration spectrum graph is as follows (Figure 8). The acceleration spectrum chart prepared was entered in the Define /

Functions / Response Spectrum section of SAP2000 as follows (Figure 9).

R	Zemin Sınıfı	T <sub>A</sub>	T <sub>B</sub>
2.5	4	0.20	0.90

Figure 7. Soil class and earthquake load reduction coefficient

T	S(T)	R <sub>a</sub> (T)	S(T) / R <sub>a</sub> (T)
0.00	1.00	1.5	0.67
0.10	1.75	2	0.88
0.20	2.50	2.5	1.00
0.90	2.50	2.5	1.00
1.00	2.30	2.5	0.92
1.10	2.13	2.5	0.85
1.20	1.99	2.5	0.79
1.30	1.86	2.5	0.75
1.40	1.76	2.5	0.70
1.50	1.66	2.5	0.66
1.60	1.58	2.5	0.63
1.70	1.50	2.5	0.60
1.80	1.44	2.5	0.57
1.90	1.38	2.5	0.55
2.00	1.32	2.5	0.53
2.10	1.27	2.5	0.51
2.20	1.22	2.5	0.49
2.30	1.18	2.5	0.47
2.40	1.14	2.5	0.46
2.50	1.10	2.5	0.44
2.60	1.07	2.5	0.43
2.70	1.04	2.5	0.42
2.80	1.01	2.5	0.40
2.90	0.98	2.5	0.39
3.00	0.95	2.5	0.38
3.10	0.93	2.5	0.37
3.20	0.91	2.5	0.36
3.30	0.88	2.5	0.35
3.40	0.86	2.5	0.35
3.50	0.84	2.5	0.34
3.60	0.82	2.5	0.33
3.70	0.81	2.5	0.32
3.80	0.79	2.5	0.32
3.90	0.77	2.5	0.31
4.00	0.76	2.5	0.30

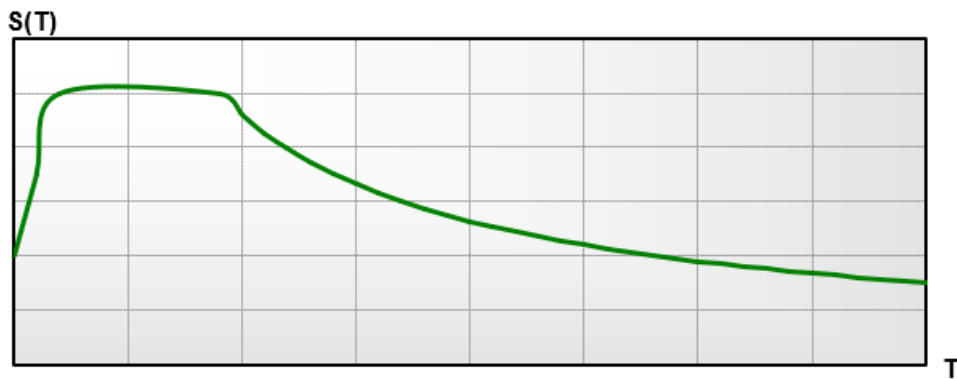


Figure 8. Design Acceleration Spectrum Graph

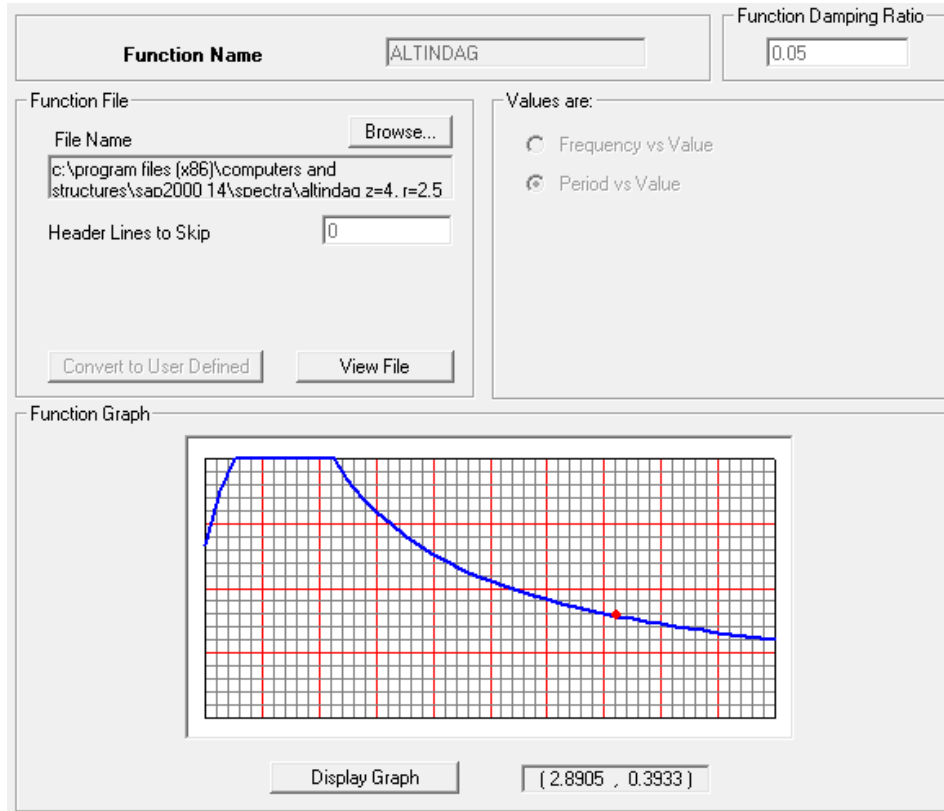


Figure 9. Acceleration spectrum chart in SAP2000

After the definitions are completed, the analysis cases are defined. These are DEAD, MODAL, SPECX and SPECY. DEAD and MODAL load cases are automatically generated by SAP2000.

For MODAL analysis case, the number of modes has been changed to 26. SPECX and SPECY analysis cases are defined as follows (Figure 10);

$$V_t = W \frac{A_0 IS(T)}{R_a(T)}$$

scale factor

$$V_t = m \cdot g \cdot A_0 I \frac{S(T)}{R_a(T)}$$

Scale factor =  $9.81 \times 0.1 \times 1 = 0.981$

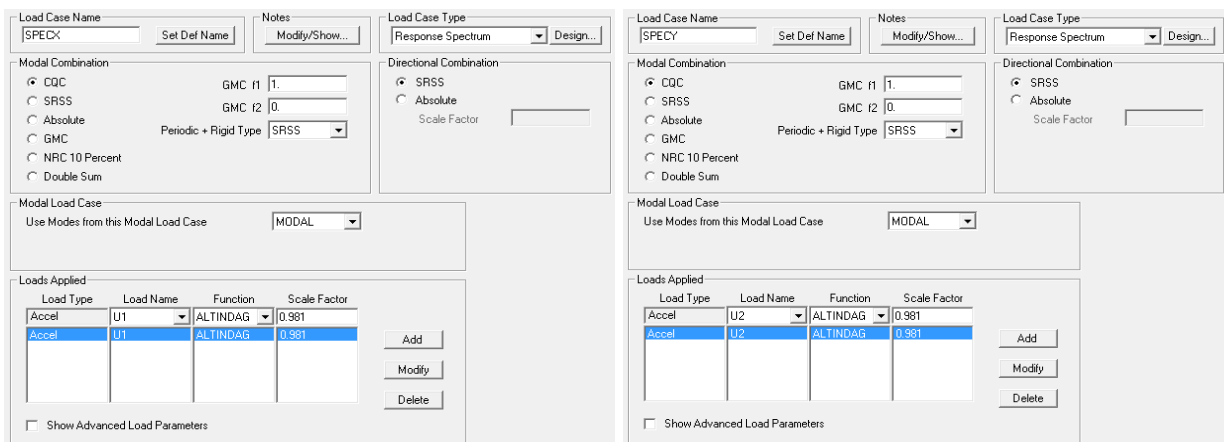


Figure 10. Defining SPECX and SPECY analysis cases

After defining the loading cases, two load combinations were created (Figure 11). These;

COMB1 = DEAD + SPECX + 0.3 x SPECY  
 COMB2 = DEAD + SPECY + 0.3 x SPECX



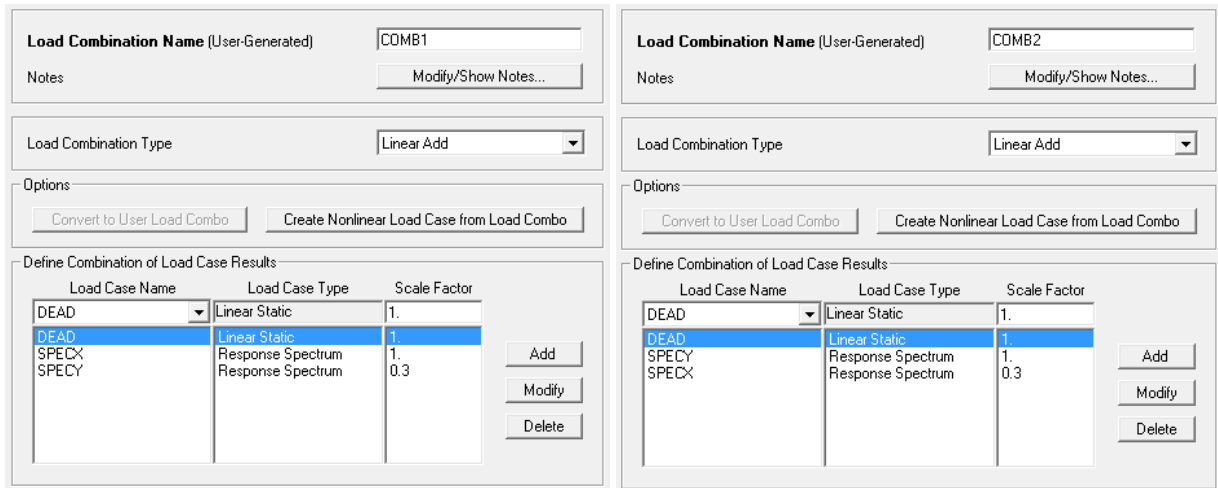


Figure 11. Creating COMB1 and COMB2 load combination

After the structural analysis, the exaggerated deformed shape and maximum displacement of the structure were determined. In an earthquake in the X direction, the largest displacement is 2.5

mm in the dome, and in a Y direction earthquake the largest displacement is 2.6 mm (Figure 12-13).

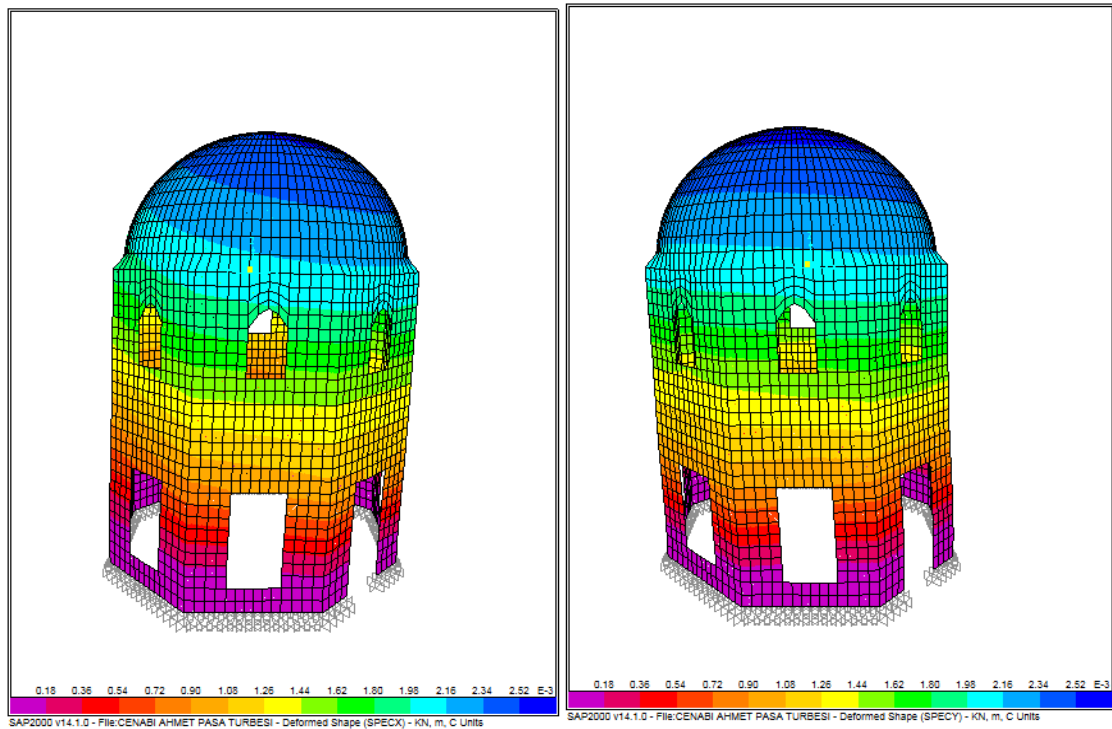


Figure 12. Displacement caused by earthquakes in X and Y direction.

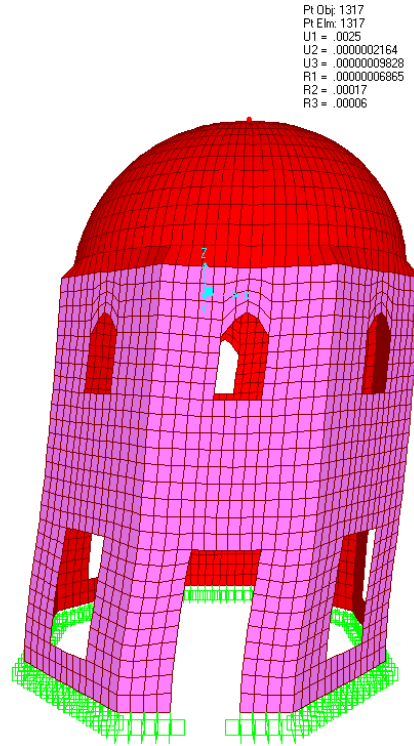


Figure 13. The maximum displacement at the top of the building in the event of an earthquake.

As can be seen, in the event of an earthquake, the maximum displacement in the earthquake direction (U1) at the top of the building is 2.5 mm. Since the walls and the dome have different

**Wall Stress Controls:**

The permissible compressive stress in stone walls is 0.9 MPa, tensile stress 0.135 MPa and shear stress 0.53 MPa. When both

allowable stress values, the stress checks will be made separately for the wall and the dome. Stress controls are as follows.

load combinations are considered, the comparisons with the maximum stresses and the allowable stresses on the wall are as follows (Figure 14);

AreaElem	OutputCase	StepType	S11Top	S22Top	S13Avg	S23Avg	basınç (0.9 Mpa)		çekme (0.135)		kayma (0.53 Mpa)	
3255	COMB1	Min	-0.24	-0.354	-0.008092	0.00198	-0.240	ok				
3975	COMB1	Max	0.132	0.012	0.003047	0.003815			0.132	ok		
4400	COMB2	Min	-0.177	-0.647	-0.005586	-0.035	-0.647	ok				
5182	COMB2	Max	0.017	0.076	0.042	0.033			0.076	ok		
2222	COMB2	Max	0.005144	-0.035	0.063	-0.001962					0.063	ok
4521	COMB2	Min	-0.046	-0.517	-0.004848	-0.125					-0.125	ok

Figure 14. Maximum stresses and allowable stresses in the wall

**Dome Stress Controls:**

The permissible compressive stress in brick elements is 2.4 MPa, tensile stress 0.36 MPa and shear stress 1.05 MPa. When

both load combinations are considered, the comparisons with the maximum stresses and the allowable stresses in the dome are as follows (Figure 15);

AreaElem	OutputCase	StepType	S11Top	S22Top	S13Avg	S23Avg	basiñç (2.4 Mpa)	çekme (0.36)	kayma (1.05 Mpa)
1404	COMB1	Min	-0.063	-0.059	-0.013	-0.001117	-0.063	ok	
32	COMB2	Max	0.146	-0.035	0.066	0.001491		0.146	ok
134	COMB2	Min	0.023	-0.156	-0.016	0.016	-0.156	ok	
22	COMB2	Max	0.072	0.051	-0.008846	-0.037		0.051	ok
40	COMB2	Min	-0.00211	-0.053	-0.102	-0.012			-0.102 ok
147	COMB2	Max	0.048	-0.08	-0.002655	0.022			0.022 ok

Figure 15. Maximum stresses and allowable stresses in the dome

The maximum and minimum values of all stresses are used in the above table to make comparisons with the allowable stresses. Stress charts for COMB1 and COMB2 are as follows for the whole structure. Compressive and tensile stresses and shear

stresses are displayed in various colors in finite element analysis programs. In this way, the areas of the building that will pose a danger in the face of earthquakes and other loads can be easily determined.

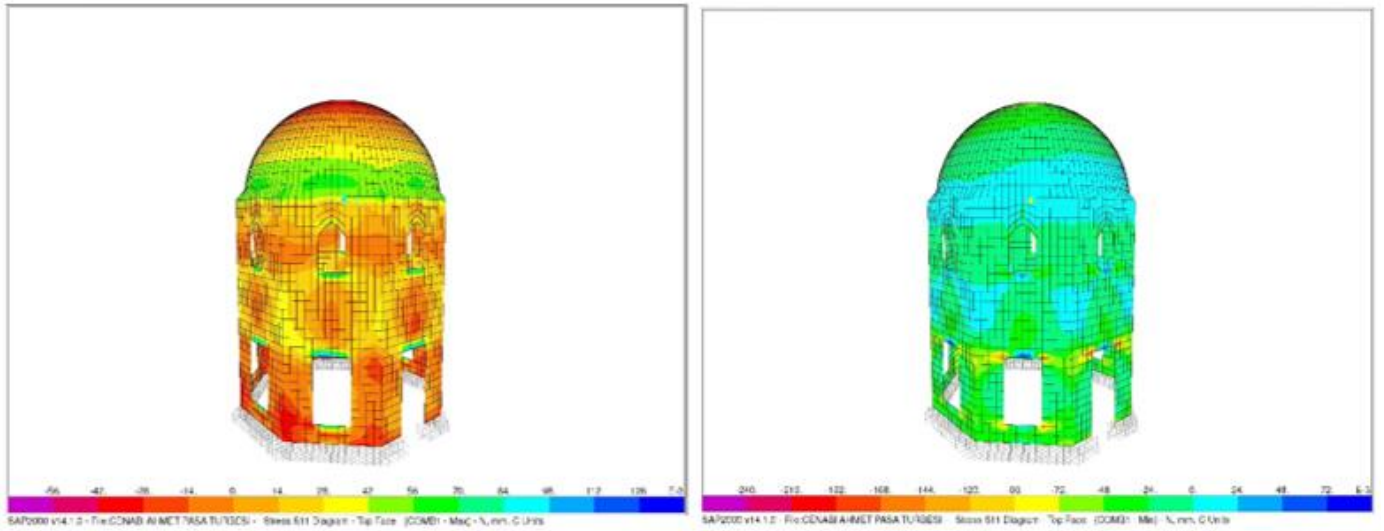


Figure 16. Cenabi Ahmet Pasa Tomb, S11 Diagram-Top Face (COMB1-Max and COMB1-Min.)

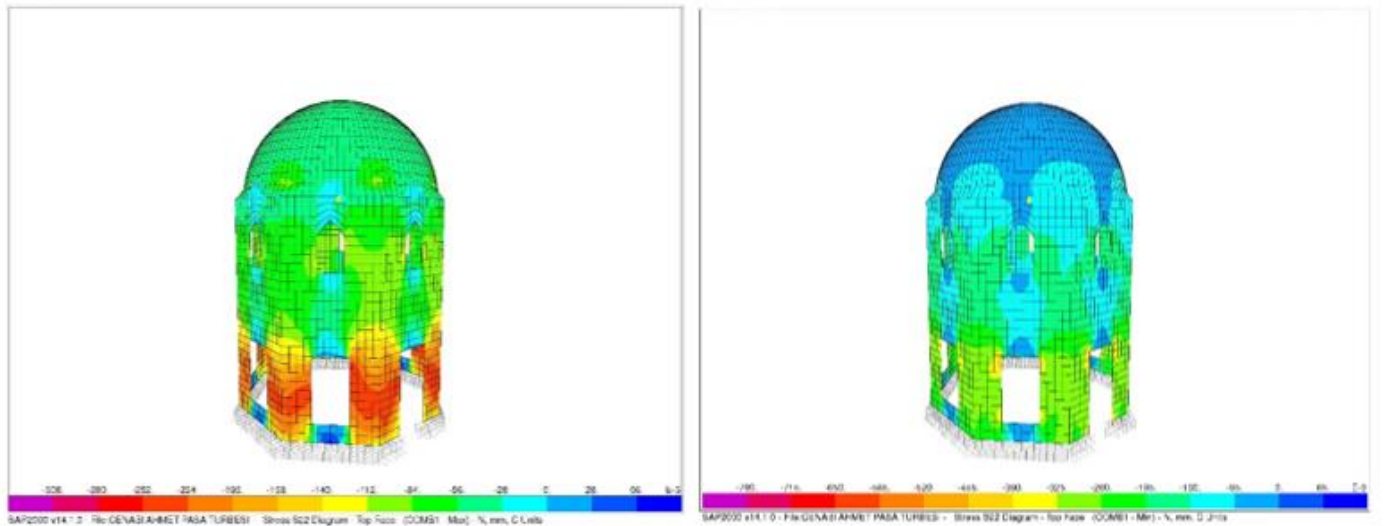


Figure 17. Cenabi Ahmet Pasa Tomb, S22 Diagram-Top Face (COMB1-Max and COMB1-Min.)

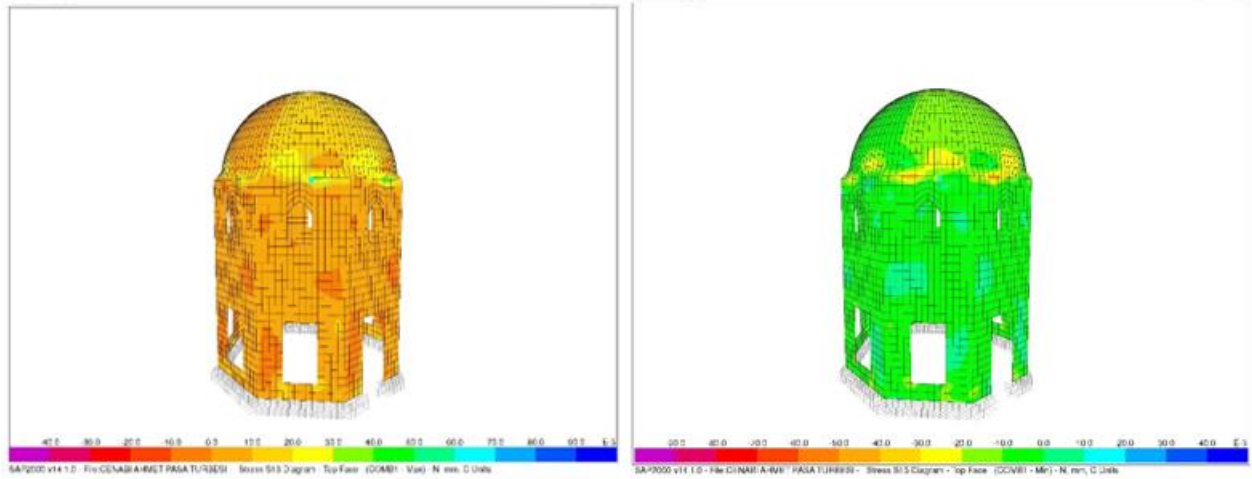


Figure 18. Cenabi Ahmet Pasa Tomb, S13 Diagram-Top Face (COMB1-Max and COMB1-Min.)

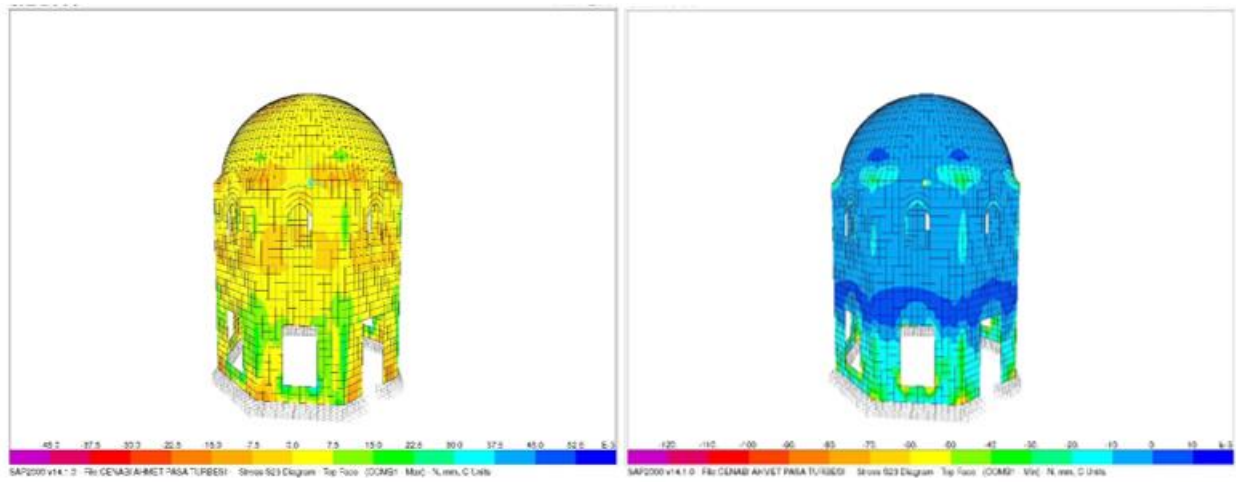


Figure 19. Cenabi Ahmet Pasa Tomb, S23 Diagram-Top Face (COMB1-Max ve COMB1-Min.)

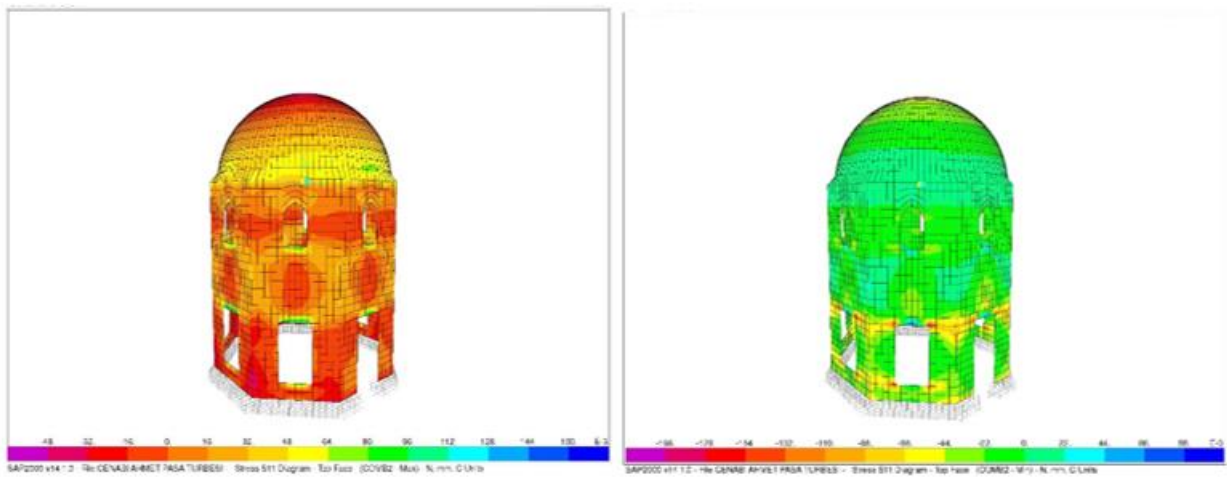


Figure 20. Cenabi Ahmet Pasa Tomb, S11 Diagram-Top Face (COMB2-Max ve COMB2-Min.)

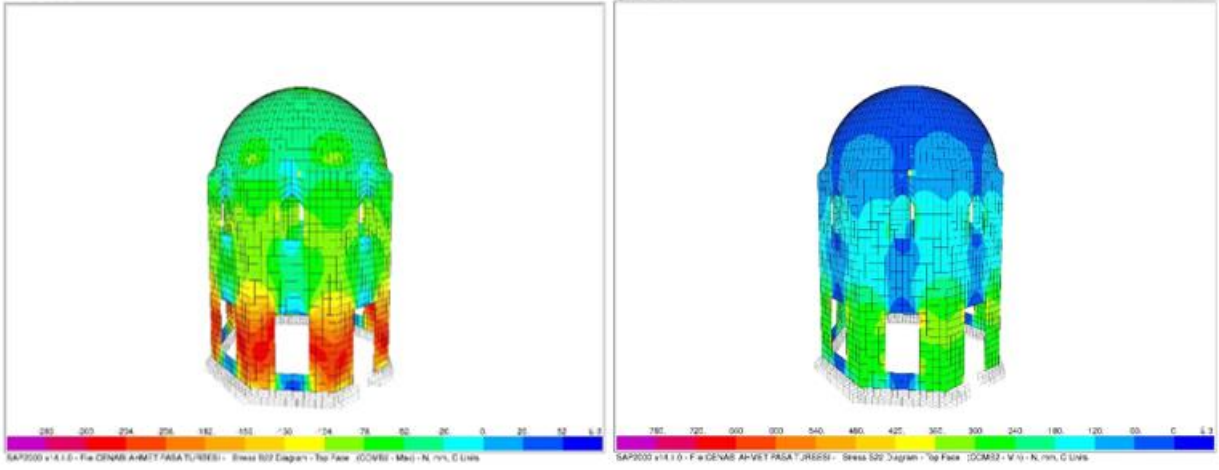


Figure 21. Cenabi Ahmet Pasa Mosque, S22 Diagram-Top Face (COMB2-Max ve COMB2-Min.)

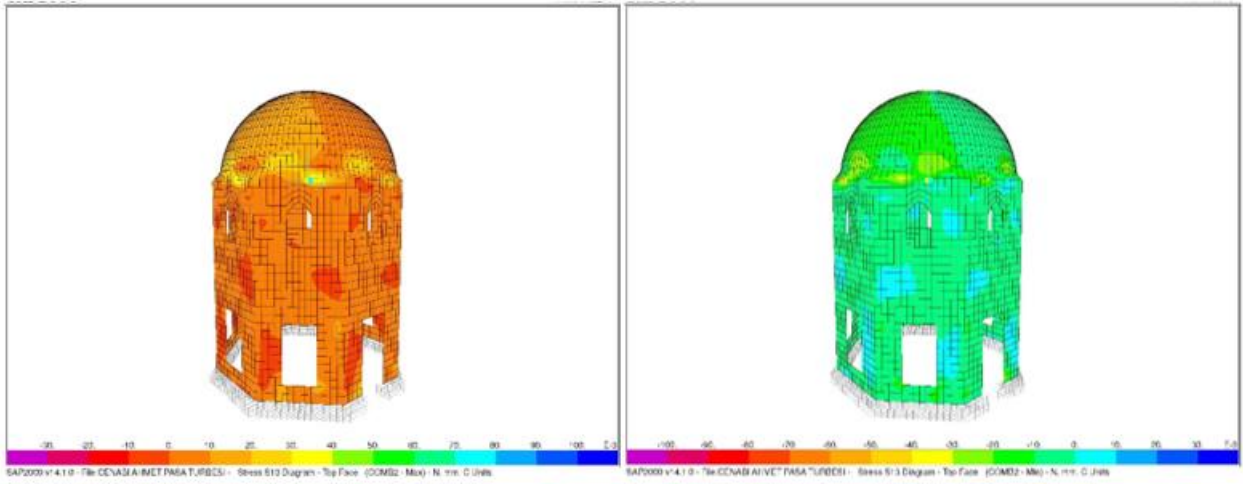


Figure 22. Cenabi Ahmet Pasa Tomb, S13 Diagram-Top Face (COMB2-Max ve COMB2-Min.)

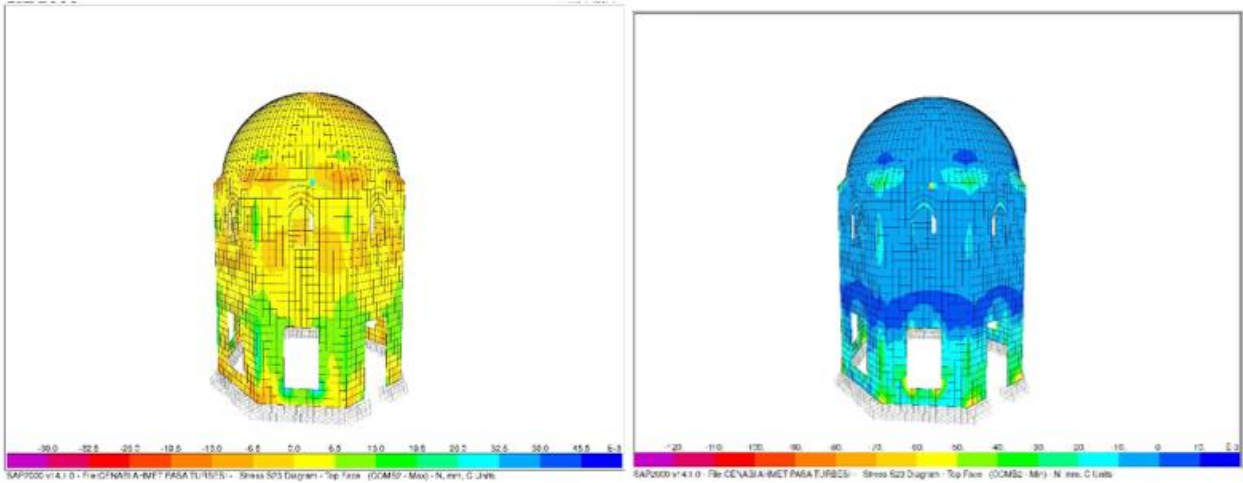


Figure 23. Cenabi Ahmet Pasa Tomb, S23 Diagram-Top Face (COMB2-Max ve COMB2-Min.)

### 3. Conclusion

As can be seen from the tables above, no adverse situation was observed as a result of the earthquake loading in terms of stresses on both the dome and the stone walls of the building. It has been observed that the building has sufficient security according to the earthquake shadow it is located in.

The most important factor that determines the strength and performance of the structural system in historic masonry structures is its resistance to various loads and external influences. For this reason, the loads affecting these structures must be calculated correctly and transferred to the calculation model while performing structural analysis. The most appropriate method for determining earthquake resistance in historic masonry structures is finite element analysis.

Historical buildings are more suitable for modeling with shell and plate elements due to the geometric features of their carrier systems. Presentation of internal forces in shell and plate elements with maps showing the axis force distribution or stress distribution allows the calculation results to be easily evaluated. It is thought that it would be beneficial for institutions working on historical buildings in our country to have such modeling done in their project studies (survey, restoration and restitution projects) in order to clearly determine the structural status and earthquake resistance of the buildings in question. In addition, material analyzes made in these project studies will provide more accurate results in the modeling.

## References

- Betti, M., Vignoli, A. (2008). Modelling and Analysis of a Romanesque Church under Earthquake Loading: Assessment of Seismic Resistance, *Engineering Structures*, 30(2), 352-367.
- Başkan, S. (1998). *Ankara Cenabi Ahmet Paşa Camii*, Ankara: T.C. Kültür Bakanlığı Yayınları.
- Can, H. ve Ünay, A., İ. (2012). Tarihi Yapıların Deprem Davranışını Belirlemek İçin Sayısal Analiz Yöntemleri, *Gazi Üniversitesi Mimarlık ve Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 27(1), 212-217.
- Can, H., Kubin, J., Ünay, A., İ. (2012). Düzensiz Geometrik Şekile Sahip Tarihi Yığma Binaların Sismik Davranışı, *Gazi Üniversitesi Mimarlık ve Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 27(3), 679-686.
- Karakuş, F. (2019). Investigation of the Repairing and Strengthening Methods in Historical Structures. *International Journal of Scientific and Technological Research*, 5(5), 90-107., Doi: 10.7176/JSTR/5-5-11

Keypour, H., Fahjan, Y., Bayraktar, A., (2007). "Analysis and strengthening methods for historical masonry structures", *5th International Conference on Seismology and Earthquake Engineering*, Tahrán.

Lourenço, P.B. (2006). Structural Behavior of Civil Engineering Structures: Highlight in Historical and Masonry Structures, Universidade do Minho, Portugal, <http://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/6436>.

Mainstone, R. (1997). Structural Analysis, Structural Insights and Historical Interpretation, *The Journal of the Society of Architectural Historians*, 56(3), 316-340).

Saraç, M., M. (2003). *Tarihi Yığma Kargir Yapıların Güçlendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Bölümü, İstanbul.

Şenel, M., Ş. (1996). *Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Üç Boyutlu Yapı Analizi Yapan Bir Bilgisayar Programı*, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Bölümü, Denizli.

Vintzileou, E. ve diğ. (2007). Seismic behaviour of the historical structural system of the island of Lefkada, Greece, *Construction and Building Materials*, vol. 21: 225-236.

Ünay, A. İ. (2002). *Tarihi Yapıların Depreme Dayanımı*, Ankara: ODTÜ Mimarlık Fakültesi Yayınları.

Resmi Gazete, (18 Mart 2018). Turkey Building Earthquake Regulation (Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği), <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2018/03/20180318M1-2.htm>.

URL-1: Ankara Deprem Haritası, Retrieved March 20, 2021, from <https://www.ankarahavadis.com.tr/ankara/ankara-nin-deprem-haritasi-iste-ilce-ilce-ankara-nin-h15289.html>



# Antimicrobial Activity of Algal Extracts Against Foodborne Pathogens

Meyrem Vehapi<sup>1</sup>, Benan İnan<sup>2</sup>, Azime Yılmaz<sup>3</sup>, Didem Özçimen<sup>4\*</sup>

<sup>1</sup> Yıldız Technical University, Faculty of Chemical and Metallurgical Engineering, Department of Bioengineering, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0001-8235-3552), [m\\_vehapi@hotmail.com](mailto:m_vehapi@hotmail.com)

<sup>2</sup> Yıldız Technical University, Faculty of Chemical and Metallurgical Engineering, Department of Bioengineering, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0002-2315-3099), [benaninan@gmail.com](mailto:benaninan@gmail.com)

<sup>3</sup> Yıldız Technical University, Faculty of Chemical and Metallurgical Engineering, Department of Bioengineering, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0002-9470-4310), [azimeyilmaz1@gmail.com](mailto:azimeyilmaz1@gmail.com)

<sup>4\*</sup> Yıldız Technical University, Faculty of Chemical and Metallurgical Engineering, Department of Bioengineering, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0003-2483-7617), [ozcimen@yildiz.edu.tr](mailto:ozcimen@yildiz.edu.tr)

(First received 1 May 2021 and in final form 15 August 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.931091)

**ATIF/REFERENCE:** Vehapi, M., İnan, B., Yılmaz, A. & Özçimen, D. (2021). Antimicrobial Activity of Algal Extracts against Foodborne Pathogens. *European Journal of Science and Technology*, (27), 36-43.

## Abstract

Algal biotechnology has been gaining increased attention to be evaluated in pharmaceutical and nutraceutical industries. Since proteins, carbohydrates, fatty acids, vitamins, minerals, pigments and many other important metabolites accumulate in their cells, algae are used by humans as the main nutritional support and food additive for various purposes. Algal bioactive compounds such as oleic acid, linoleic acid, palmitoleic acid, vitamin E,  $\beta$ -carotene, lutein and zeaxanthin have antimicrobial, antioxidant, antifungal and antiviral properties and play an important role in the reduction and prevention of foodborne diseases. Bioactive compounds of microalgae should be investigated in order to develop new pharmaceuticals and to provide chemical and pharmacological innovation. Various microalgae extracts are known to have in-vitro antimicrobial activity against pathogenic microorganisms. The aim of this study was to investigate the antifungal and antibacterial effects of the extracts of *U. lactuca* macroalgae and *C. vulgaris*, *C. minutissima* and *C. protothecoides* microalgae against *Fusarium oxysporum* fungal microorganisms and *Mycobacterium smegmatis* RUT, *Proteus mirabilis* BC6624 and *Aeromonas hydrophila* ATCC7965 bacterial microorganisms. The antimicrobial effects of the extracts were tested on fungal and bacterial microorganisms by using agar disk diffusion method. As a result of this study, the inhibition zone diameter of algae against *F. oxysporum* was found to be 53.00 mm for *C. vulgaris*; 59.00 mm for *C. minutissima*; 54.50 mm for *C. protothecoides* and 47.00 mm for *U. lactuca* at the dose of 20 $\mu$ L/petri on the 6th day of incubation. While *P. mirabilis* and *M. smegmatis* were resistant to the extracts of all macro - microalgae species used in the study, *A. hydrophila* were determined as the sensitive bacteria.

**Keywords:** Antimicrobial activity, *Chlorella* sp., *Ulva lactuca*, Foodborne pathogens.

## Algal Ekstraktların Gıda Kaynaklı Patojenlere Karşı Antimikrobiyal Aktivitesi

### Öz

Algal biyoteknoloji, ilaç ve nutrasötik endüstrilerde değerlendirilmek üzere gün geçtikçe daha fazla dikkat çekmektedir. Algler hücre içinde biriktirdikleri protein, karbonhidrat, yağ asitleri, vitamin, mineral, pigmentler ve daha pek çok önemli metabolitler ile insanlar tarafından besin desteği ve gıda katkı maddesi olarak değişik amaçlarla kullanılmaktadırlar. Oleik asit, linoleik asit, palmitoleik asit, E vitamini,  $\beta$ -karoten, lutein ve zeaksantin gibi algal biyoaktif bileşikler antimikrobiyal, antioksidan, antifungal ve antiviral özelliklere sahip olup, gıda kaynaklı hastalıkların azaltılması ve önlenmesinde önemli rol oynarlar. Yeni farmasötik maddeler geliştirmek ve kimyasal ve farmakolojik yenilik sağlamak için mikroalgal kaynaklı biyoaktif bileşikler araştırılmalıdır. Çeşitli mikroalg ekstraktlarının patojen mikroorganizmalara karşı in-vitro antimikrobiyal aktiviteye sahip olduğu bilinmektedir. Bu çalışmanın amacı, *U. lactuca* makroalg ve *C. vulgaris*, *C. minutissima* ve *C. protothecoides* mikroalg ekstraktlarının *Fusarium oxysporum* fungal mikroorganizmaya

\* Corresponding Author: [ozcimen@yildiz.edu.tr](mailto:ozcimen@yildiz.edu.tr)

karşı antifungal ve *Mycobacterium smegmatis* RUT, *Proteus mirabilis* BC6624 ve *Aeromonas hydrophila* ATCC7965 bakteriyel mikroorganizmalara karşı antibakteriyel etkilerini araştırmaktır. Elde edilen ekstraktların antimikrobiyal etkileri agar disk difüzyon yöntemi kullanılarak fungal ve bakteriyel mikroorganizmalar üzerinde denenmiştir. Bu çalışmanın sonucu olarak, *F. oxysporum*'a karşı 6. inkübasyon gününde 20 µL / petri dozunda *C. vulgaris* ekstraktı için 53.00 mm; *C. minutissima* için 59.00 mm; *C. protothecoides* için 54.50 mm ve *U. lactuca* için 47.00 mm inhibisyon zon çapı gözlenmiştir. *P. mirabilis* ve *M. smegmatis* çalışmada kullanılan tüm makro - mikroalg türlerinin ekstraktlarına karşı dirençli bakteriler iken, *A. hydrophila* duyarlı bakteri olarak belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Antimikrobiyal aktivite, *Chlorella* sp., *Ulva lactuca*, Gıda patojenleri.

## 1. Introduction

Food-borne diseases account for significant economic losses and serious health problems all over the world. During food transport and storage, foodborne pathogens can reach dangerous numbers and cause food poisoning in humans. Individuals with the highest risk of food-borne disease are pregnant women, children, the elderly and those with weakened immune systems (Durlu Özkaya and Cömert, 2008). Live microorganisms that cause food poisoning cause disease by multiplying in the digestive system or by mixing with blood (Lisete et al., 2016). *M. smegmatis* is defined as a new opportunistic agent that may be responsible for the disease spreading in immune compromised individuals (Pierre-Audigier et al., 1997). *Aeromonas hydrophila* is commonly found in salt water. It is isolated from seafood, chicken meat, dairy products and many other foods (Durlu Özkaya and Cömert, 2008). *A. hydrophila* is considered as a human pathogen that produces infection primarily in immune compromised patients (Morgan et al., 1985). *Proteus* species are the causative agent of various opportunistic hospital infections including respiratory tract, eye, ear, nose, skin, burns, throat and wounds. *Proteus* bacilli are associated with urinary tract infections in individuals with structural or functional abnormalities (Jacobsen et al., 2008).

Mycotoxin is one of the serious dangers produced by fungi that is present in food and threatens human and animal health (Lisete et al., 2016). Fumonisin, trichothecenes and zearalenone mycotoxins are produced by various food-borne fungi belonging to the *Fusarium* species (Durlu Özkaya and Cömert, 2008). *Fusarium* species may cause mycotoxicosis in humans following food intake colonized by the fungal organism. This pathogen usually affects individuals with poor immune system and immune compromised individuals (Gupta et al., 2000).

The majority of foodborne diseases occur as a result of microbial contamination. These microorganisms lead to poisoning of the person taking the food orally. To prevent this, fungicides and synthetic chemicals are frequently applied on vegetables and fruits today (Göksan et al., 2003). The most common concerns are pesticide residues, chemical contaminants and the possibility of food additives resulting in unexpected health consequences. As a result of treatment of foods with high amounts of synthetic chemicals, they cause negative effects on food safety and human health. For all these reasons, food safety and different methods of combating against pests have become an increasingly important public health issue (Amaro et al., 2011). In last decade, functional and bioactive compounds from marine plants, animals and microorganisms have become sustainable solution that offers new compounds with high biological activity (Şimat et al., 2020). In recent years, the need to develop environmentally friendly biological preservatives as an alternative to chemicals has become a priority (Gowda et al., 2020; Vehapi et al., 2020).

Macro - microalgae contain a large number of bioactive molecules which are pharmaceutically important such as proteins, lipids, vitamins, enzymes, sterols, pigments (Ak and Cirik, 2017). Proteins and peptides with antifungal activity have potential value in protecting crops and food as well as preventing fungal infections in humans (Gowda et al., 2020). Bioactive compounds such as oleic acid, linoleic acid, palmitoleic acid, vitamins A, C, E, D, B12, β carotene, phycocyanin, lutein and zeaxanthin exhibit antioxidant, antifungal, antiviral or antibiotic properties (Ak and Cirik, 2017). The aim of this study was to investigate the antimicrobial effects of *U. lactuca* macroalgae, *C. vulgaris*, *C. minutissima* and *C. protothecoides* microalgae against *F. oxysporum* fungal and *M. smegmatis*, *P. mirabilis* and *A. hydrophila* bacterial microorganisms.

## 2. Material and Method

### 2.1. Materials

The microalgae species used in the study were obtained from Algal Biotechnology and Bioprocess Laboratory in Bioengineering Department of Yıldız Technical University. *Ulva lactuca* macroalgae was collected from the coastal areas of Marmara Sea. Methanol and DMSO were purchased from Merck. *Fusarium oxysporum*, *Mycobacterium smegmatis* RUT, *Proteus mirabilis* BC 6624 and *Aeromonas hydrophila* ATCC 7965 were obtained from the Microbiology Laboratory of Food Engineering Department of Yıldız Technical University. Potato Dextrose Agar (PDA, Merck), Nutrient Broth and Nutrient Agar (NA, Merck) medium were used to determine the antifungal effect.

### 2.2. Microalgae cultivation

The microalgae species were allowed to grow in an agitated incubator operating at 28 ± 2°C, 150 rpm using BBM medium prepared with distilled water in a closed semi-batch culture system. Continuous illumination was provided with 18W fluorescent tubes. Optical density analysis was carried out with UV Visible Spectrophotometer (PG Instruments T-60) at 540 nm for two weeks. When the growth curve was determined and the microalgae reached the stationary phase, the cells were harvested by centrifugation. The microalgae were centrifuged for 5 min at 8000 rpm and algal pellets were dried overnight in the oven at 65°C (Vehapi et al., 2018a).

### 2.3. Preparation of algae extracts

The collected macroalgae was washed with distilled water and dried for 24 h at the temperature of 65 °C, then it was stored in an air-tight container. Dried macro - microalgae samples were extracted in soxhlet extraction with methanol. Excess methanol was evaporated using a rotary evaporator. Extracted macro - microalgae samples were prepared at concentrations of 10 mg / mL with DMSO for evaluation of antimicrobial activity (Vehapi et al., 2018b; Al-Ghanayem et al., 2017). DMSO was used instead of methanol for preparing the extract samples because DMSO is



considered non-toxic to cells. DMSO is placed in the safest category, class 3 solvents, with low toxic potential (Vehapi et al., 2019).

## 2.4. FT-IR Measurements

Functional groups in the structure of organic compounds, whether the two compounds are the same, the state of the bonds in the structure can be determined by FT-IR spectrometer. In addition, biochemically; the structures of carbohydrates, phospholipids, amino acids and proteins can be determined (Koçer and Özçimen, 2018). FT-IR measurements of macro - microalgae samples were determined by Bruker Alpha FT-IR spectrometer.

## 2.5. Chemical Identification by GC Analysis

YL Instruments 6100 gas chromatography (GC) was used to determine fatty acid methyl ester (FAME) content of macro - microalgae species. The temperature program of the column was started at 50 °C and increased to 175 °C at 15 °C / min and then 230 °C at 5 °C / min. Hydrogen gas was used as the carrier gas. The injector temperature was set to 230 °C and the flow rate to 1.8 mL / min. The analyzes were performed using the flame ionization detector (FID) and the ZB-FFAP column. The detector temperature was kept constant at 280 °C. The injection volume was adjusted to 1 µL. Methyl margarate was used as an internal standard and the samples were prepared by mixing methyl margarte and n-heptane for GC analysis (Gülyurt et al., 2016).

## 2.6. Determination of biochemical and total phenolic content

Lowry method was used to determine the protein content of macro - microalgae samples (Lowry et al., 1951). The phenol-sulfuric acid method was used to determine the total carbohydrate content in the macro - microalgae sample (Dubois et al., 1965). Soxhlet extraction method was used to determine the lipid content in macro - microalgae samples (Soxhlet, 1879; Koçer and Özçimen, 2018).

The total phenolic content of the samples was determined by the Folin-Ciocalteu method. Briefly, 200 µL of the diluted extract was mixed with 1 mL of Folin-Ciocalteu reagent in test tubes, and then 800 µL (75 g/L) of sodium carbonate was added. The samples were incubated in darkness for 30 min at room temperature, and then absorbance at 765 nm was measured by spectrophotometer. The total phenol content of the extracts is expressed in milligrams of Gallic acid equivalent (Haoujar et al. 2019).

## 2.7. Pathogenic Isolations

*Fusarium oxysporum* was isolated from tomato seedlings. Sport suspensions were cultured on potato PDA with 50 mg / L streptomycin at 25 ± 2 °C for 7 days. The spores were collected by washing the surface with distilled water and gently shaking the plate to remove spores. The spores were counted and 1×10<sup>5</sup> spore / mL was adjusted to the inoculum concentration by hemocytometer. Prior to inoculation, the resulting suspensions were shaken for 30 seconds using vortexing (Yilmaz et al., 2016a, 2016b).

## 2.8. Determination of Antifungal Effect

Fungal discs taken from fungal cultures of 7 days of fungal cultures developed in PDA medium were placed in the middle of

petri dishes. Macro - microalgae oils were prepared by dissolving at 10 mg / mL concentration in DMSO. Discs impregnated with 20 and 40 µL / petri algae extracts were placed on the top lids of prepared petri dishes. Plates were incubated for 6 days at 25 ± 2 °C for fungal strains. Negative controls were prepared using DMSO. The colony diameters of the fungi growing in petri dishes were measured on the 3rd, 4th, 5th and 6th days (Yilmaz et al., 2016a). The relative growth inhibition % of treated plates compared to the control plates were calculated using the following formula (Al-Reza et al, 2010; Vehapi et al., 2019):

$$\text{growth inhibition \%} = \left( \frac{[\text{Control} - \text{Treated}]}{\text{Control}} \right) \times 100 \quad (1)$$

where Control and Treated correspond to mean diameter of growth (mm) of fungi colonies.

## 2.9. Determination of Antibacterial Effect

Antibacterial effects of macro - microalgae extracts were determined against Gram-positive and Gram-negative bacteria by using disk diffusion method. Algae extracts prepared at concentrations of 10 mg / mL in discs with a diameter of 6 mm were absorbed in disc papers with an automatic pipette at 20 and 40 µL / petri dose. The disc of algae extracts were placed in the suspension of bacteria spreading onto the NA medium by incubation and allowed to incubate at 37 °C for 24 hours (Vehapi et al., 2018b).

## 2.10. Statistical Analysis

Variance analysis was performed using JMP (release 6.0.0, SAS) package program. The significance levels between the means were determined by Student's t comparison test. Data were presented as mean ± standard deviation (p < 0.05 was considered significant).

# 3. Results and Discussion

## 3.1. Characterization of Algal Species and Their Extracts

The functional groups identified from the FTIR spectra were presented in Table 1. It was seen that there are similar peaks in the range of 4000–2000 cm<sup>-1</sup>. FTIR functional groups have shown the presence of alkanes, amines, carboxylic acids, esters, ketones and phenols (Du et al., 2011).

Phenols are known as membrane toxins that destroy cell walls. It is known that microalgae, especially *C. vulgaris*, contain phenolic compounds. Antimicrobial activity of phenolic compounds; alteration of the permeability of the microbial cell results from loss of internal macromolecules, loss of membrane function and loss of cellular integrity and results in cell death (Chinnasamy et al., 2009). Evaluation of the fingerprint region in FT-IR spectrum which was found between 1800 and 700 cm<sup>-1</sup> is the best way to identify phenolic compounds (Baltacıoğlu et al. 2021). According to the literature, the peak at the wave number of 1618 cm<sup>-1</sup> is assigned to ring C-C stretch of phenyl and the band at 813 cm<sup>-1</sup> which is caused by ring CH deformation can indicate polyphenols (Lu et al. 2011). In addition to that, band between 1300 cm<sup>-1</sup> and 1200 cm<sup>-1</sup> which is C-O stretching shows the presence of phenols, and the peak at 1200 cm<sup>-1</sup> in the fingerprint region indicates phenols (Ceylan and Goldfarb 2015). In the present study, it was considered that the, peak at 1238 cm<sup>-1</sup> shows the presence of phenol. Peaks in the range of 1500-1700 cm<sup>-1</sup> seen in all macro - microalgae samples are thought to be caused by

protein content and a large peak in the range of 900-1000  $\text{cm}^{-1}$  is thought to be caused by high carbohydrate content as shown in Figure 1 (Krzemińska et al., 2015).

Table 1. Wave number and functional groups of macro - microalgae samples

Wave number ( $\text{cm}^{-1}$ )	Functional groups
3250	Stretching vibration of the OH group
2900 - 2950	C-H stretching vibrations of $\text{CH}_2$
1625 - 1730	Amide C = O originated from protein
1530	Amide N-H originated from protein
1420	Stretching of $\text{CH}_3$ and $\text{CH}_2$ groups
1300-1200	C-O stretching
1210	P = O stretch associated with phosphorus compounds
1012 - 1030	C-O Ester and C-N stretching

results because other fatty acids were found in trace amounts (Gülyurt et al., 2016).

In Table 2, the biochemical and total phenolic contents of algal species were given. It was seen that, *C. minutissima* has the highest total phenolic content in comparison with the other algal species in this study. Algal-derived peptides show antimicrobial properties by inhibiting bacterial spread and micelle development of fungal pathogens (Ak and Cirik, 2017; Gowda et al., 2020). Also alkaloids in *C. vulgaris* are bioactive compounds with antibacterial activity. It can be seen in Table 2, the protein content of microalgal sample was higher than macroalgal sample. Algae are composed of a variety of polysaccharides, including alginic acid and alginates, carrageenan and agar, laminaran, fucoidan, ulvan and derivatives (Gökpinar et al., 2006).

Table 2. Biochemical and phenolic contents of algae samples

	Protein (%)	Carbohydrate (%)	Lipid (%)	Total Phenolics (mg/g GAE)
<i>C. minutissima</i>	35.6	23.1	24.8	188.54
<i>C. vulgaris</i>	28.6	24.5	28.3	75.81
<i>C. protothecoides</i>	30.3	22.2	32.5	78.82
<i>U. lactuca</i>	28.8	44.1	5.3	33.27

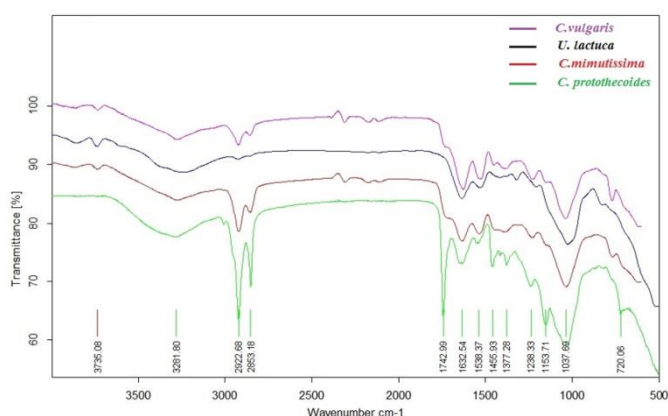


Figure 1. Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) spectrum of algae samples.

Eicosapentaenoic acid contained in macro - microalgae has antimicrobial activity against pathogens. *C. minutissima* is rich in amino acids and polyunsaturated fatty acids. The action mechanism of fatty acids affects various structures of microorganisms; which cell membranes are most affected. Membrane damage probably leads to the loss of internal substances of cell and the introduction of harmful components, in addition to reducing nutrient absorption and inhibiting cellular respiration. The biological activity of fatty acids depends on the ability to inhibit bacterial growth, chain length and degree of unsaturation (de Morais et al., 2014).

The fatty acid profile of macro - microalgae species as; *U. lactuca*, *C. vulgaris*, *C. minutissima* and *C. protothecoides* was determined using GC analysis. GC analysis showed four main fatty acids: palmitic, oleic, linoleic and linolenic acid. The highest fatty acid methyl ester oleic acid (C18 = 1) and linoleic acid (C18 = 2) determined in all samples were not determined by these

### 3.2. In Vitro Fumigation of Algae Extracts

In Table 3, the extracts of *U. lactuca*, *C. minutissima*, *C. vulgaris* and *C. protothecoides* were given at 20 and 40  $\mu\text{L}$  /petri in the fumigation application on the 3rd, 4th, 5th and 6th incubation day. According to Table 3; in the fumigation of *U. lactuca* extract on the 6th day of incubation, the micellar growth of *Fusarium oxysporum* was obtained as 47.00 – 46.50 mm. Additionally the micellar growth of *Fusarium oxysporum* in fumigation of *C. vulgaris* extract was obtained as 44.00 - 53.00 mm. Furthermore the micellar growth of *Fusarium oxysporum* was obtained as 53.00 and 59.00 mm in fumigation of *C. minutissima* extract on the 6th day of incubation. Finally the antifungal activity of *C. protothecoides* extract on the 6th day of incubation against the micellar growth of *Fusarium oxysporum* was obtained as 43.75 - 54.50 mm. The micellar development of the *Fusarium oxysporum* as a control was 76.50 mm. It was observed that the increase of the dose of microalgae extract against *Fusarium oxysporum* did not have a significant effect in fumigation of *C. protothecoides*.

Macro and microalgae extracts with antifungal activity act by inhibiting of micellar growth, by preventing germination of *Fusarium oxysporum* from 22.88 % to 42.81 % (Table 4). The lowest inhibiting rate (22.88 %) was observed at 20  $\mu\text{L}$  /petri *C. minutissima* application and the highest inhibiting rate (42.81 %) was seen at 40  $\mu\text{L}$  /petri *C. protothecoides* application. As a result, the highest inhibition rates of microalgal extracts against *Fusarium oxysporum* were determined using the JMP package program for variance analysis. *C. protothecoides* and *C. vulgaris* were similar and highly effective, however, *C. minutissima* showed the lowest inhibition rate against *Fusarium oxysporum* as shown in Table 5 and Figure 2.

In the study of Vehapi et al. (2018a); *C. vulgaris* and *C. minutissima* microalgae samples were grown in ISKI municipal wastewater, Bold Basal medium and Iroko tree water, and they

examined the antifungal effect of the microalgal extracts at 40 µL / petri and 60 µL / petri. The ratio of *C. vulgaris* extract grown in Bold Basal medium to *Fusarium oxysporum* mycelial growth rate was obtained as 49.00 mm at 60 µL / petri dish and 63.00 mm at 40 µL / petri and *C. minutissima* extract was obtained as 59.00 mm in 40 µL / petri dose and 57.00 mm in 60 µL / petri on the 6th day of incubation. In present study, the inhibition rate was found to be 53.00 mm for *C. vulgaris* and 59.00 mm for *C. minutissima* at dose 20 µL / petri on the 6th day of incubation. As a result of this study, it has been proven that even at lower doses, high effect can be observed.

In the study of Özçimen (2018), the antifungal effect of *Chlorella protothecoides* microalgae prepared at concentrations of 50 and 100 mg / mL using DMSO, ethanol and methanol solvents on *Botrytis cinerea* and *Aspergillus niger* fungal pathogens was investigated by impregnating the discs at 50 µL / petri dose. As a result, *C. protothecoides* extracts prepared using DMSO, was reported as the highest with 44.20 mm antifungal activity against *Aspergillus niger* on the 6th day of incubation. In our present study, macro - microalgae extracts were prepared at

lower concentrations of 10 mg / mL with DMSO and the micelle growth at lower doses such as 20 and 40 µL / petri were investigated against bacterial microorganisms *Mycobacterium smegmatis* RUT, *Proteus mirabilis* BC6624 and *Aeromonas hydrophila* ATCC7965 and fungal microorganisms *Fusarium oxysporum*.

Terpenes, alkaloids and polypeptides found in *C. vulgaris* are the main groups with antifungal activity (Castillo et al., 2004). Antifungal proteins of plant origin are the basic focus of biotechnology owing to its antifungal activity (Gowda et al., 2020). Eicosapentaenoic acid and phenolic compounds present in *C. minutissima* microalgae have antimicrobial activity against pathogens (Castillo et al., 2004). *U. lactuca*, *C. minutissima*, *C. vulgaris* and *C. protothecoides* macro - microalgae species have different effects against *F. oxysporum* because it is thought to be related to the presence of secondary metabolites with different ratios and antifungal activity in all algae species.

Table 3. Antifungal activity of algae extracts at 20 and 40 µL/petri doses against *Fusarium oxysporum* micellar growth

Incubation day	Impregnated Dose	<i>C.vulgaris</i> mm	<i>C.minutissima</i> mm	<i>C.protothecoides</i> mm	<i>U.lactuca</i> mm
3 day	Control	41.25±0.35 <sup>a</sup>	41.25±0.35 <sup>a</sup>	41.25±0.35 <sup>a</sup>	41.25±0.35 <sup>a</sup>
	20 µL/petri	38.50±1.06 <sup>b</sup>	40.00±0.00 <sup>a</sup>	34.50±0.70 <sup>c</sup>	34.50±2.12 <sup>c</sup>
	40 µL/petri	35.50±3.53 <sup>b</sup>	38.50±2.12 <sup>a</sup>	33.25±0.35 <sup>c</sup>	36.00±1.41 <sup>b</sup>
4 day	Control	49.50±0.70 <sup>a</sup>	49.50±0.70 <sup>a</sup>	49.50±0.70 <sup>a</sup>	49.50±0.70 <sup>a</sup>
	20 µL/petri	44.00±4.24 <sup>b</sup>	49.50±2.12 <sup>a</sup>	42.25±1.76 <sup>c</sup>	40.50±6.36 <sup>d</sup>
	40 µL/petri	37.00±1.41 <sup>b</sup>	44.00±7.07 <sup>a</sup>	35.75±0.35 <sup>c</sup>	37.50±0.00 <sup>b</sup>
5 day	Control	64.50±2.12 <sup>a</sup>	64.50±2.12 <sup>a</sup>	64.50±2.12 <sup>a</sup>	64.50±2.12 <sup>a</sup>
	20 µL/petri	51.00±4.59 <sup>b</sup>	54.00±4.24 <sup>a</sup>	48.75±6.71 <sup>c</sup>	44.50±6.36 <sup>d</sup>
	40 µL/petri	43.00±1.41 <sup>b</sup>	49.00±5.65 <sup>a</sup>	39.50±0.70 <sup>c</sup>	42.00±1.41 <sup>b</sup>
6 day	Control	76.50±2.12 <sup>a</sup>	76.50±2.12 <sup>a</sup>	76.50±2.12 <sup>a</sup>	76.50±2.12 <sup>a</sup>
	20 µL/petri	53.00±7.07 <sup>b</sup>	59.00±2.82 <sup>a</sup>	54.50±10.6 <sup>b</sup>	47.00±5.65 <sup>c</sup>
	40 µL/petri	44.00±1.41 <sup>b</sup>	53.00±2.82 <sup>a</sup>	43.75±1.76 <sup>b</sup>	46.50±1.41 <sup>c</sup>

Numbers; mean colony diameter ± SD (mm) represents standard deviation values (n = 6).

a-d: in each row, the lower case superscripts shows the differences between each types of algae on the day of incubation. p <0.05 was considered to be statistically significant

Table 4. The growth inhibition rates (%) of algae extracts at 20 and 40 µL/petri doses against *F. oxysporum* at 6. incubation day

Algae	20 µL	40 µL
<i>C. vulgaris</i>	30.72 <sup>B</sup>	42.48 <sup>A</sup>
<i>C. minutissima</i>	22.88 <sup>B</sup>	30.72 <sup>A</sup>
<i>C. protothecoides</i>	28.76 <sup>B</sup>	42.81 <sup>A</sup>
<i>U. lactuca</i>	38.56 <sup>B</sup>	39.22 <sup>A</sup>

A-B: in each row, the upper case superscripts shows the differences between 20 and 40 µL / petri concentration. p <0.05 was considered to be statistically significant.

Algae	Day	SS	df	MS	F	p-value
<i>C. vulgaris</i>	3	35.05	4	8.76	115.80	<0.0001
	4	113.41	5	22.68	290.30	<0.0001
	5	426.90	5	86.38	1613.5	<0.0001
<i>C. minutissima</i>	6	932.01	5	186.40	1513.9	<0.0001
	3	33.43	4	8.35	108.56	00000
	4	141.30	6	23.55	4240	<0.0001
<i>C. protothecoides</i>	5	379.90	5	75.99	115.80	<0.0001
	6	644.50	5	128.90	1031.2	<0.0001
	3	56.48	5	11.29	217.80	<0.0001
<i>U. lactuca</i>	4	137.63	6	22.90	152.36	<0.0008
	5	447.10	7	63.80	766.48	<0.0013
	6	924.10	6	154.00	1700.8	<0.0001
<i>C. vulgaris</i>	3	66.32	5	13.26	-	<0.0001
	4	174.70	6	29.11	299.50	<0.0003
	5	551.77	5	110.35	1765.6	<0.0001
<i>C. vulgaris</i>	6	931.00	4	232.70	5586	<0.0001

The p values obtained as a result of comparison of the data of samples were considered as statistically significant when p values less than 0.01 were obtained.

Table 5. Analysis of variance of *F. oxysporum* micelle development with one-way ANOVA

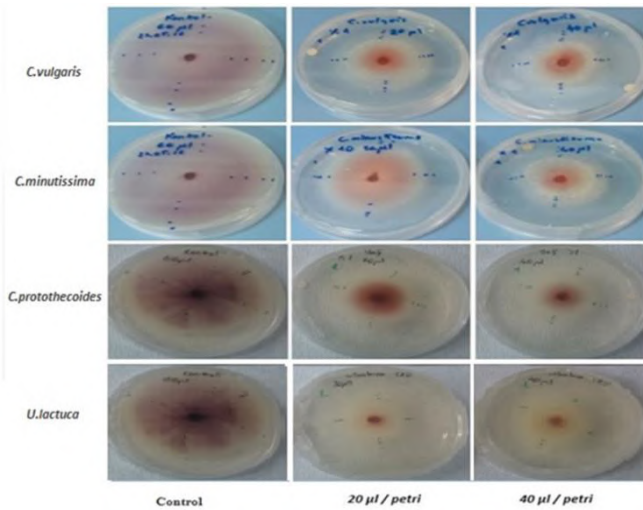


Figure 2. Different doses of algae extracts in-vitro fumigation application of *F. oxysporum* mycelial growth inhibition rates.

### 3.3.Determination of Antibacterial Activity

The antimicrobial activity of macro - microalgae is dependent on the ability to synthesize fatty acids, terpenoids, sterols, sulfur-containing heterocyclic compounds, carbohydrates and phenolic compounds (Pérez et al., 2016). Antibacterial activities of macro - microalgae extracts were investigated using disk diffusion method against Gram positive; *Mycobacterium smegmatis* and Gram negative; *Proteus mirabilis* and *Aeromonas hydrophila* as shown in Figure 3. According to Table 6, the antibacterial activity of *U. lactuca* macroalgae extract against *P. mirabilis* was determined as microorganism resistant with 12.16 mm at 20 µL / petri dose and 13.00 mm inhibition zone at 40 µL / petri dose. The antibacterial activity against *Mycobacterium smegmatis* was found to be resistant with the inhibition zone diameter of 9.66 mm at 20 µL / petri dose and 11.66 mm inhibition zone diameter at 40 µL / petri dose. The antibacterial activity of *U. lactuca* macroalgae extract against *Aeromonas hydrophila* was determined as microorganism susceptible with 20 µL / petri dose and 19.33 mm and 40 µL / petri dose with inhibition zone diameter of 27.00 mm.

The antibacterial activity of *C. minutissima* extract against *Proteus mirabilis* was determined as microorganism intermediate with a inhibition zone diameter of 17.66 mm at a dose of 40 µL / petri and 14.16 mm inhibition zone diameter at 20 µL / petri dose. The antibacterial activity against *Mycobacterium smegmatis* was found to be resistant with the inhibition zone diameter of 13.16 mm at 20 µL / petri dose and as intermediate with 15.00 mm inhibition zone diameter at 40 µL / petri dose.

The antibacterial activity of *C. vulgaris* extract against *Aeromonas hydrophila* was determined as microorganism susceptible with 20 µL / petri dose and 18.00 mm and 40 µL / petri dose with inhibition zone diameter of 21.66 mm. Antibacterial activity against *Mycobacterium smegmatis* was determined as microorganism resistant with inhibition zone 8.00 mm diameter of 20 µL / petri dose and with inhibition zone 11.66 mm diameter of 40 mL / petri dose.

The antibacterial activity of *C. protothecoides* extract against *P. mirabilis* was determined as microorganism resistant with 9.50 mm at 20 µL / petri dose and 10.00 mm inhibition zone at 40 µL / petri dose.

petri dose. Antibacterial activity against *A. hydrophila* was determined as microorganism resistant with 10.66 mm inhibition zone diameter at 20 µL / petri dose and 13.66 mm inhibition zone diameter at 40 µL / petri dose, anti-bacterial activity against *M. smegmatis* was determined as microorganism resistant with 10.33 mm inhibition zone diameter at 20 µL / petri and 10.66 mm inhibition zone at 40 µL / petri dose. All bacteria were found to be resistant to *C. protothecoides* microalgae. As a result, it can be reported that secondary metabolites with antifungal activity act by inhibiting or inhibiting the growth of micellar growth, by preventing germination or by reducing the sporulation of fungal pathogens (Table 4).

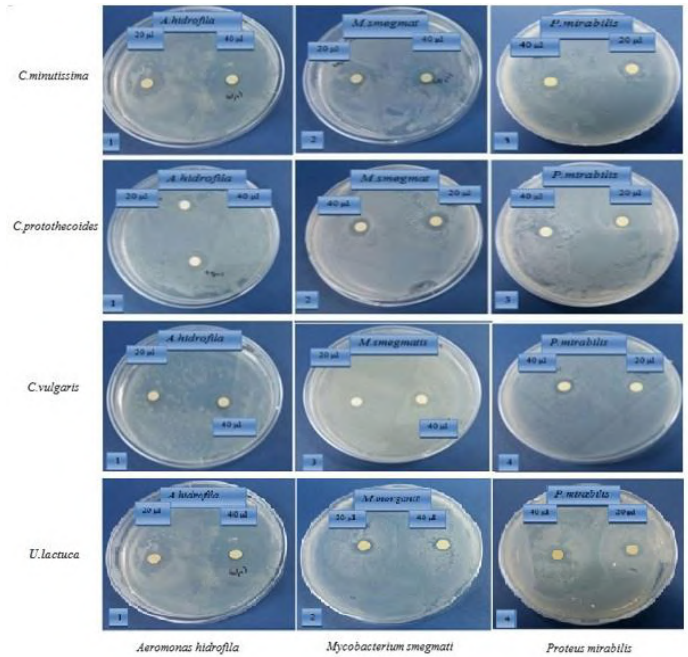


Figure 3. Antibacterial activity of algae extracts on *A. hydrophila*, *M. smegmatis* and *P. mirabilis*

Table 6. Average inhibition zone diameters of the algae extracts against pathogens (mm)

Algae samples	Dose µL	Zone of inhibition (mm)		
		<i>P.mirabilis</i>	<i>A.hidrofila</i>	<i>M.smegmatis</i>
<i>C.minutissima</i>	20	14.16±1.44 <sup>A</sup>	12.66 ±0.57 <sup>C</sup>	13.16±3.61 <sup>B</sup>
	40	17.66±4.04 <sup>A</sup>	17.33 ±3.05 <sup>A</sup>	15.00±2.00 <sup>B</sup>
<i>C.vulgaris</i>	20	09.33±1.52 <sup>B</sup>	18.00±4.35 <sup>A</sup>	8.00±1.73 <sup>B</sup>
	40	10.66±1.15 <sup>B</sup>	21.66±5.77 <sup>A</sup>	11.66±3.51 <sup>B</sup>
<i>C.protothecoides</i>	20	09.50±3.04 <sup>B</sup>	10.66±1.52 <sup>A</sup>	10.33±2.08 <sup>A</sup>
	40	10.00±1.00 <sup>B</sup>	13.66±1.52 <sup>A</sup>	10.66±2.08 <sup>B</sup>
<i>U.lactuca</i>	20	12.16±2.25 <sup>B</sup>	19.33±1.15 <sup>A</sup>	9.66±1.52 <sup>C</sup>
	40	13.00±2.08 <sup>B</sup>	27.00±2.00 <sup>A</sup>	11.66±2.30 <sup>C</sup>

(a) Data are given as mean ± standard deviation (n = 6).

A-C: In each row, the different upper case superscripts of each macro - microalgae extract with the activity of 20 and 40 µl/petri show differences in bacterial strains (p <0.05).

## 4. Conclusions and Recommendations

Treatment of vegetables and fruits with a high proportion of synthetic chemicals results in environmental pollution, adverse effects on foods, adverse effects on humans and food poisoning. For such reasons, natural fungicides which are obtained from macro - microalgae and which have no side effects, and the natural food additives with antibacterial properties should be produced and used.

In conclusion, the extracts obtained from different algae species have strong antimicrobial effects against *P. mirabilis*, *M. smegmatis*, *A. hidrofila* and *F. oxysporium* pathogens. These results are indicative of the presence of antimicrobial compounds in algae species. In this study, it has been proven to be useful as a natural food additive in the treatment of infections, to prevent food poisoning and to prevent food spoilage.

## 5. Acknowledge

The authors acknowledge financial support from the Yıldız Technical University, Scientific Research project (2016-07-04-YL13) provided for this work.

## References

- Ak, İ. & Cirik, S. (2017). Blue-green algae (Cyanobacteria) and thermalism. *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 34(2), 227-233.
- Al-Reza, S.M., Rahman, A., Ahmed, Y. & Kang, S.C. (2010). Inhibition of plant pathogens in vitro and in vivo with essential oil and organic extracts of *Cestrum nocturnum* L. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 96, 86-92.
- Al-Ghanayem, A.A., Al-Sobeai, M.S., Alhussaini, S.M., Joseph, B. & Saadabi, A.M. (2017). Antifungal activity of *Anastatica hierochuntica* L. extracts against different groups of fungal pathogens: An in-vitro test. *Romanian Biotechnological Letters*, 23(6), 14135. doi: 10.26327/RBL2018.147.
- Amaro, H.M., Guedes, A.C. & Malcata, F.X. (2011). Antimicrobial activities of macro - microalgae: an invited review. In: Méndez-Vilas A (ed). *Science against microbial pathogens: communicating current research and technological advances*. Formatex Ressearch Center Spain, 3, 1272-1280.
- Baltacıoğlu, H., Baltacıoğlu, C., Okur, I., Tanrıvermiş, A., & Yalıç, M. (2021). Optimization of microwave-assisted extraction of phenolic compounds from tomato: Characterization by FTIR and HPLC and comparison with conventional solvent extraction. *Vibrational Spectroscopy*, 113, 103204.
- Castillo, F., Hernández, D., Gallegos, G., Rodríguez, R. & Aguilar, C.N. (2004). Antifungal properties of bioactive compounds from plants. *Fungicides for Plant and Animal Diseases*, 82-98.
- Ceylan, S., & Goldfarb, J. L. (2015). Green tide to green fuels: TG-FTIR analysis and kinetic study of *Ulva prolifera* pyrolysis. *Energy Conversion and Management*, 101, 263-270.
- Chinnasamy, S., Ramakrishnan, B., Bhatnagar, A. & Das, K.C. (2009). Biomass production potential of a wastewater alga *Chlorella vulgaris* ARC 1 under elevated levels of CO<sub>2</sub> and temperature. *International Journal of Molecular Sciences*, 10(2), 518-532.
- de Morais, M.G., Da Silva Vaz, B., de Morais, E.G. & Vieira Costa, J.A. (2014). Biologically active metabolites synthesized by macro - microalgae. *BioMed Research International*, 1, 15.
- Du, Z., Li, Y., Wang, X., Wan, Y. & Chen, Q. et al. (2011). Microwave-assisted pyrolysis of macro - microalgae for biofuel production. *Bioresource Technology*, 102(7), 4890-4896.
- Dubois, M., Gilles, K.A. & Hamilton, J.K. (1956). Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry*, 28(3), 350-356.
- Durlu Özkaya, F. & Cömert, M. (2008). Efficient factors for food poisoning. *Turkish Bulletin of Hygiene and Experimental Biology*, 65(3), 149-158.
- Gowda, C. T., Purama, S. N. S., & Kammara, R. (2020). TLPdb: A Resource for Thaumatin-Like Proteins. *The Protein Journal*, 39(4), 301-307.
- Gökpinar, Ş., Koray, T., Akçiçek, E., Gökşan, T. & Durmaz, Y. (2006). Algae antioxidants. *E.U. J. Fisheries & Aquatic Science*. 23 (1), 85-89.
- Gökşan, T., Durmaz, Y. & Gökpinar, Ş. (2003). Effects of light path lengths and initial culture density on the cultivation of chaetocerosmuelleri. *Aquaculture*. 217, 431-436.
- Gülyurt, M.Ö., Özçimen, D. & İnan, B. (2016). Biodiesel production from *Chlorella protothecoides* oil by microwave-assisted transesterification. *International Journal of Molecular Sciences*, 17(4), 579. doi:10.3390/ijms17040579.
- Gupta, A.K., Baran, R. & Summerbell, R.C. (2000). Fusarium infections of the skin. *Current Opinion in Infectious Diseases*, 13(2), 121-128.
- Haoujar, I., Cacciola, F., Abrini, J., Mangraviti, D., Giuffrida, D., Oulad El Majdoub, Y., Kounoun, A., Miceli, N., Taviano, M., Mondello, L., Rigano, F. & Skali Senhaji, N. (2019). The contribution of carotenoids, phenolic compounds, and flavonoids to the antioxidative properties of marine microalgae isolated from Mediterranean Morocco. *Molecules*, 24(22), 4037.
- Jacobsen, S.M., Stickler, D.J., Mobley, H.L.T. & Shirtliff, M.E. (2008). Complicated catheter-associated urinary tract infections due to *Escherichia coli* and *Proteus mirabilis*. *Clinical Microbiology Reviews*, 21(1), 26-59.
- Koçer, A.T. & Özçimen, D. (2018). Investigation of the biogas production potential from algal wastes. *Waste Management & Research*, 36(11), 1100-1105.
- Krzemińska, I., Nawrocka, A., Piasecka, A., Jagielski, P. & Tys, J. (2015). Cultivation of *Chlorella protothecoides* in photobioreactors: The combined impact of photoperiod and CO<sub>2</sub> concentration. *Engineering in Life Sciences*, 15(5), 533-541.
- Lisete, P., Elisabete, L., Ana, N.I., Massimo, M. & José, B. (2016). Health-promoting ingredients from four selected Azorean macroalgae. *Food Research International*, 89, 432-438.
- Lu, X., Wang, J., Al-Qadiri, H. M., Ross, C. F., Powers, J. R., Tang, J., & Rasco, B. A. (2011). Determination of total phenolic content and antioxidant capacity of onion (*Allium cepa*) and shallot (*Allium oschaninii*) using infrared spectroscopy. *Food Chemistry*, 129(2), 637-644
- Lowry, O.H., Rosebrough, N.J. & Farr, A.L. (1951). Protein measurement with the folin phenol reagent. *Journal of Biological Chemistry*, 193, 265-275.
- Morgan, D.R., Johnson, P.C., Dupont, H.L., Satterwhite, T.K. & Wood, L.V. (1985). Lack of correlation between known virulence properties of *Aeromonas hydrophila* and

- Enteropathogenicity for humans. *Infection and Immunity*, 50(1), 62-65.
- Özçimen, D. (2018). Investigation of antifungal effect of *Chlorella protothecoides* macro - microalgae oil against *Botrytis cinerea* and *Aspergillus niger* fungi. *Journal of Tekirdag Agricultural Faculty*, 15(2), 45-52.
- Pérez, M.J., Falqué, E. & Domínguez, H. (2016). Antimicrobial action of compounds from marine seaweed. *Marine Drugs*, 14, 52.
- Pierre-Audigier, C., Jouanguy, E., Lamhamedi, S., Altare, F., Rauzier, J. et al. (1997). Fatal disseminated *Mycobacterium smegmatis* infection in a child with inherited interferon  $\gamma$  receptor deficiency. *Clinical infectious diseases*, 24(5), 982-984.
- Soxhlet, F. (1879). Die gewichtsanalytische bestimmung des milchfettes. *Dingler's Polytechnisches Journal*, 232, 461-465.
- Šimat, V., Elabed, N., Kulawik, P., Ceylan, Z., Jamroz, E., Yazgan, H., ... & Özogul, F. (2020). Recent Advances in Marine-Based Nutraceuticals and Their Health Benefits. *Marine Drugs*, 18(12), 627.
- Vehapi, M., İnan, B., Yılmaz, A., Özçimen, D. (2020). Prevention of foodborne infections with algal biotechnology. II. International Enzyme and BioprocessDays EBDays 2020, İstanbul, Türkiye, 26.
- Vehapi, M., Koçer, A. T., Yılmaz, A., & Özçimen, D. (2019). Investigation of the antifungal effects of algal extracts on apple-infecting fungi. *Archives of Microbiology*, 1-17.
- Vehapi, M., Yılmaz, A. & Özçimen, D. (2018a). Antifungal activities of *Chlorella vulgaris* and *Chlorella minutissima* macro - microalgae cultivated in bold basal medium, wastewater and extract water against *Aspergillus niger* and *Fusarium oxysporum*. *Romanian Biotechnological Letters*, 1-8.
- Vehapi, M., Yılmaz, A. & Özçimen, D. (2018b). Investigation of antibacterial and antioxidant activities of some algae species. *Journal of Biotechnology*, 280, 80.
- Yılmaz, A., Ermis, E. & Boyraz, N. (2016a). Investigation of in vitro and in vivo anti-fungal activities of different plant essential oils against postharvest apple rot diseases *Colletotrichum gleosporioides*, *Botrytis cinerea* and *Penicillium expansum*. *Journal of Food Safety and Quality*, 67, 113-148.
- Yılmaz, A., Bozkurt, F., Cicek, P.K., Dertli, E., Durak, M.Z. et al. (2016b). A novel antifungal surface-coating application to limit postharvest decay on coated apples: molecular, thermal and morphological properties of electrospun zein-nanofiber mats loaded with curcumin. *Innovative Food Science Emerging Technology*, 37, 74-83.



# Tekstil İmalat Endüstrisinde İş Güvenliği Liderliği, İklimi ve Davranışı Arasındaki İlişkinin İncelenmesi

Çağdaş Çalış<sup>1\*</sup>, Banu Yeşim Büyükkakıncı<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> İstanbul Aydın Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İş Sağlığı ve Güvenliği Ana Bilim Dalı, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-8347-3748), [cagdascalis@stu.aydin.edu.tr](mailto:cagdascalis@stu.aydin.edu.tr)

<sup>2</sup> İstanbul Aydın Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0001-7597-4406), [yesimbuyukakinci@aydin.edu.tr](mailto:yesimbuyukakinci@aydin.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 3 Mayıs 2021 ve Kabul Tarihi 15 Ağustos 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.932037)

**ATIF/REFERENCE:** Çalış Ç. & Büyükkakıncı, B.Y. (2021). Tekstil İmalat Endüstrisinde İş Güvenliği Liderliği, İklimi ve Davranışı Arasındaki İlişkinin İncelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (27), 44-52.

## Öz

İş güvenliği lideri, iş güvenliği faaliyetlerinin her aşamasında bulunan kişidir. İş güvenliği lideri yalnızca çalışanların refahını ve güvenliğini değil, iş yerindeki olumlu iş güvenliği iklimini oluşturmada da rol üstlenmektedir. İş güvenliği liderliği ve iklimi, iş güvenliğinde performans çıktısı olarak değerlendirilen güvenli davranış etkileyecek önemli unsurlardandır. İş yerlerinde güvenli davranışın sergilenmesi iş kazalarının azalmasına katkı sağlayacaktır. Bu çalışmada iş güvenliği liderliği, iş güvenliği iklimi ve güvenli davranış arasındaki ilişkilerin korelasyon yöntemi ile incelenmesi amaçlanmıştır. Sosyal Güvenlik Kurumu (SGK) 2019 istatistik yılına göre en çok iş kazası yaşanan endüstrilerden biri olan tekstil imalat endüstrisinde gerçekleştirilmiştir. İş güvenliği liderliği, iş güvenliği iklimi ve güvenli davranış ölçekleri kullanılarak tekstil imalat endüstrisinde çalışan 416 kişi ile anket çalışması yapılmıştır. Anketlerin analizinde ve yorumlanmasında IBM SPSS Statistics 22, Lisrel 8.8 ve AMOS paket programları kullanılmıştır. Analizler sonucunda elde edilen bulgulara göre iş güvenliği liderliği ile iş güvenliği iklimi eylem boyutu arasında orta düzeyde anlamlı ilişki tespit edilmiştir. Bu da iş güvenliği liderliği seviyesi arttıkça iş güvenliği iklimi eylem boyutunun da artacağı sonucunu ortaya çıkarmaktadır. Aynı benzer ilişki iş güvenliği liderliği ile güvenli davranış arasında da görülmektedir. İş güvenliği liderliğinin seviyesinin yüksek olduğu işletmelerde çalışanların sergiledikleri güvenli davranışların da arttığı bu çalışma ile söylenebilir. Bunlara ek olarak iş güvenliği iklimi ile güvenli davranış arasındaki ilişkilerin çok zayıf kaldığı tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** İş güvenliği liderliği, İş güvenliği iklimi, Güvenli davranış, Tekstil imalat endüstrisi, İşçi sağlığı ve iş güvenliği.

## Investigation of Relationship Between Safety Leadership, Climate and Behavior in the Textile Manufacturing Industry

### Abstract

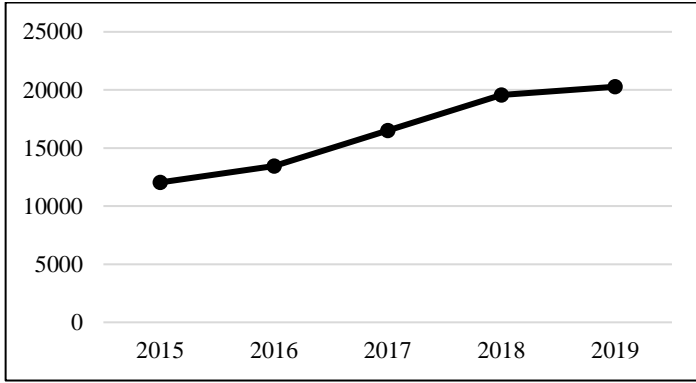
The safety leader is person who is involved in all stages of occupational safety activities. Person plays a role not only in the well-being and safety of employees, but also in creating a positive safety climate in the workplace. Safety leadership and climate are significant factors which will affect employees' safety behaviors which is considered as a performance output in occupational safety. The aim of this study is to relationship between safety leadership, safety climate and safety behavior. This study was conducted in the textile manufacturing industry, which is one of the sectors with the highest numbers of occupational accident occurrence according to the 2019 SSI statistical annuals. A survey was conducted with 416 people working in the textile manufacturing industry by use safety leadership, safety climate and safety behavior scales. IBM SPSS Statistics 22, Lisrel 8.8 and AMOS analysis package programs were used to interpret the questionnaires. According to the research findings, a moderately significant correlation was found between safety leadership and action dimension of safety climate. This shows us that as the level of safety leadership increases, the level of safety climate will also increase. The similar relationship is seen between safety leadership and safety behavior, too. With this study, it can be said that the safety behaviors of the employees in the business where the level of safety leadership is high also increases. Additionally, it has been determined that the relationship between safety climate and safety behavior is very weak.

**Keywords:** Safety leadership, Safety climate, Safety behavior, Textile manufacturing industry, Occupational health and safety

\* Sorumlu Yazar: [cagdascalis@stu.aydin.edu.tr](mailto:cagdascalis@stu.aydin.edu.tr)

## 1. Giriş

Sanayi devrimi ile gelişmiş ülkelerin ekonomik iyileşmelerinde tekstil endüstrisi önde gelen bir role sahip olmuştur. Türkiye’de tekstil endüstrisi, sağladığı istihdam ve ihracat ile ülkemize dış ticaret katkısı veren nadir sektörlerden birisidir (Efe, 2018). 2020 yılı sonu itibariyle ise tekstil sanayi mamulleri ihracatı %10,97 olup birinci otomotiv endüstrisi ve ikinci kimyevi maddeler ve mamullerinden sonra ihracatta üçüncü sıradadır (TİM, 2020). Türk hazır giyim sektörü ise 2019 yılı itibariyle %3,3 pay ile dünyanın 7’inci büyük hazır giyim ihracatçısı konumundadır (Ticaret Bakanlığı İhracat Genel Müdürlüğü, 2020). Bununla beraber tekstil sektöründeki dünya çapındaki bu artmış rekabet ve çalışma ortamındaki olumsuz koşullar iş kazalarını da beraberinde getirmiştir (ÇSGB İSGGM, 2017). SGK tarafından yayınlanmakta olan istatistik yıllıklarına bakıldığında tekstil ürünleri imalatında iş kazası sayıları son 5 yılda (2015-2019) artış eğilimi göstermiştir (Şekil 1).



Şekil 1. Tekstil ürünleri imalatında 2015-2019 yılları arasında meydana gelen iş kazası sayıları (SGK, 2020).

Tekstil ürünleri imalatı, iş kazası meydana gelme sıralamasında ise 2015-2019 yılları arasında diğer ekonomik faaliyet sınıflarına göre sıralandığında hep üst sıralarda yer almıştır (Tablo 1).

Tablo 1. Tekstil ürünleri imalatını 2015-2019 yılları arasında iş kazası sayısına göre sektörlerdeki sıralaması (SGK, 2020).

Yıl	Sektörlere göre sıralama
2015	5
2016	5
2017	6
2018	6
2019	5

Tekstil ürünleri imalatı endüstrisindeki iş kazalarının azaltılmasında, çalışanları güvenli davranışa sevk edecek ve iş yerindeki iş güvenliği iklimini olumlu şekilde etkileyecek kişilere ihtiyaç duyulduğu açıktır. Bu konuda Mullen & Kelloway (2009) tarafından yapılan çalışmada, liderlerin güvenli çalışma davranışını ve uygulamalarını aktif olarak desteklemediğinde iş güvenliği iklimi algısının olumsuz bir şekilde etkilendiğini göstermiştir.

Zayıf güvenlik kültürünün bir çıktısı olan iş kazalarında, sayıların azaltılması için, İSG mevzuatında yapılan düzenlemelerin yanında çalışanların bilinçlendirilerek, çalışma ortamındaki tehlikeli davranışları ortadan kaldırmak gereklidir

(Olçay, 2021; Olçay ve diğ. 2021). Tekstil sektöründe yaşanan iş kazaları ile ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde Ergin & Mergen (2017) tarafından yürütülen çalışmada, tekstil sektöründe iş kazalarının %68,1’inin tehlikeli davranışlardan kaynaklandığı ortaya konmuştur. Tekstil sektöründeki iş güvenliği liderliğinin güçlendirilmesi, güvenli çalışma davranışının desteklenerek iş güvenliği iklimi algısının artmasını sağlayacaktır. Bu destek ve güçlendirme, tekstil sektöründeki iş kazalarının azaltılmasına katkı sağlaması açısından önem taşımaktadır.

### 1.1. İş Güvenliği Liderliği

İş güvenliği liderliği örgütsel liderliğin bir alt başlığı olmakla birlikte iş güvenliği liderliği kalitesinin, örgüt liderliğinin kalitesi üzerinde etkisi vardır (Wu, 2005). İş güvenliği liderliği, acıların azaltılması ve insan yaşamı için özen göstermek, endişe etmek olarak tanımlanabilir (Casey & Griffin, 2020). Hackitt (2013), iş güvenliği liderliğinin ön plana çıkarılmadığı ve merkeze oturtulmadığı iş yerlerinde İSG yönetim sisteminin diğer ana parçalarına da sahip olunamayacağına dile getirmiştir. Cooper (1998) ise iş güvenliği liderliğinin yöneticiler yoluyla gösterilen, örgütteki tüm kişilerin iş güvenliği konularını nasıl karşılayacağı ve bunlara nasıl karşı durulacağını tayin ettiği için olumlu etkisi olan mühim bir özellik olduğunu söylemiştir. İş güvenliği liderliğinin kavramlaştırılmasına, iş güvenliği iklimi ve kültürü çalışmaları dolaylı olarak referans vermesine karşın, iş güvenliği liderliği ile ilgili çalışmalar oransal olarak çok azdır (Hofmann & Morgeson, 2004). Bu sebeple iş güvenliği liderliğiyle alakalı çalışmalar örgüt liderliği çalışmalarını baz almakta ve iş güvenliği liderliği çalışmalarının çoğu, lider-üye etkileşimi modeli, etkileşimli (transaksyonel) liderlik ve dönüştürücü (transformatif) liderliğe dayanmaktadır (Donovan, Salmon & Lenné, 2016; Mirza & Isha, 2017; Pilbeam vd., 2016).

### 1.2. İş Güvenliği İklimi

Örgüt iklimi kavramı, işletmelerin yönetilmesinde çalışan ilişkileri problemleri üstüne 1930’lu yıllarda çalışılırken gündeme gelmiş ve 1960-70 yılları arasında fazlasıyla rağbet görmüştür (Dursun, 2012; Şişman, 2014). Kavramın, örgüt kültürünün bilinmesiyle birlikte popüler hale geldiği söylenebilir (Şişman, 2014) örgüt iklimi, örgüt kültüründen 25 yıl önce Lewin K.’nın 1940-50’li yıllarda çalıştığı alan kuramına dayanmaktadır (Ashkanasy & Jackson, 2009). Örgüt iklimi ile ilgili birçok tanım yapılmış olsa da Türkiye’de örgüt iklimiyle ilgili ilk çalışmalardan birini yapan Yücel Ertekin örgüt iklimini, “örgüte kimliğini kazandıran, görevlilerin davranışlarını etkileyen ve onlar tarafından algılanan, örgüte egemen olan tüm özellikler dizisi” şeklinde tanımlamıştır (Kurt & Çalık, 2010). İş güvenliği iklimi ise örgüt ikliminin bir alt kavramı olarak kabul edilir (Coyle, Sleeman & Adams, 1995) ve iş yerinde verimliliğe karşı iş güvenliğinin görece önemi veya önceliği ile ilgili uzlaşmaya dayalı veya paylaşılan sosyal biliş olarak tanımlanır (Hofmann, Burke & Zohar, 2017). İş güvenliği ikliminin, iş kazalarını azaltmada değerinin bulunmasıyla beraber boyutluluğu ve faktör yapısı ile ilgili tartışmalar devam etmektedir. Araştırmacılar, iş güvenliği ikliminin tek boyuta sahip, görülemeyen bir değişken olması gerektiğini savunurken diğer araştırmacılar tabiatı gereği çok boyutlu olduğunu ifade etmişlerdir (Bosak, Coetsee & Cullinane, 2013). İş güvenliği ikliminin boyutları, araştırılmaya devam etmekle birlikte hala belirsizliğini korumaktadır (Alruqi, Hallowell & Techera, 2018).



Ancak Zohar (2000) grup seviyesinde iş güvenliği ikliminin, iki boyutta olabileceğini ifade etmiştir:

1. Eylem: yöneticinin, çalışanların davranışlarına olumlu/olumsuz geri bildirim ve iş güvenliği konularıyla ilgili eylemin başlamasıyla ilgilidir.

2. Beklenti: eylemden ziyade yönetimin iş güvenliği iklimini oluşturmasıyla ilgili beklentiyle ilgilidir.

### 1.3. İş Güvenliği Davranışı

Bir organizmanın yaptığı şeylerin tamamı davranış olarak isimlendirilir. Davranış sadece kolu kaldırma, konuşma gibi fiziki olarak görülen eylemler değil, ayrıca hem düşünme ve hissetme hem de hatırlama eylemlerini de içermektedir (Ramnerö & Törneke, 2017). Davranışlar, görevin yerine getirilip bitirilmesine öncülük etmek için her şeyi bir araya getiren bileşenlerdir (BSMS, 2020).

Çalışanların iş yerinde göstermiş olduğu davranışlar, iş güvenliği performansını belirlemede kullanılan unsurlardan biridir (Neal & Griffin, 2002). Bu unsurlar, bir görevle ilgili davranışların ana boyutlarını yansıtır (Neal, Griffin, & Hart, 2000). İş güvenliğinde davranışın ana boyutu uyum ve katılım olmak üzere iki ana boyutta tanımlanmıştır (Griffin & Neal, 2000). İş güvenliğinde uyum davranışı direkt iş kazasıyla alakalı iken, katılım davranışı iş kazasıyla direkt ilişkisi düşük olan iş güvenliği davranışlarıdır (Moon, Lee, & Oah, 2013).

## 2. Materyal ve Metod

### 2.1. Veri Toplama

Çalışmanın evrenini, 2019 yılı SGK istatistik yılığında yer alan Tekirdağ ilinde tekstil imalat sektöründeki 401 iş yerinde bulunan 46.056 sigortalı çalışan oluşturmaktadır (SGK, 2020). Evrenin örneklemini belirlemek için aşağıdaki formüller kullanılmıştır (Lorcu, 2015).

$$n = \frac{n_0}{1 + \frac{n_0 - 1}{N}} \quad (1)$$

$$n_0 = \frac{t^2 \times p \times (1 - p)}{d^2} \quad (2)$$

n: örneklem büyüklüğü, N: ana kütle büyüklüğü, t: güven düzeyine karşılık t değeri, p: belli bir özelliğe sahip birimlerin oranı, d: tahmini tolerans miktarı (hata payı)

%5 hata payı ile ana kütle temsil edecek örneklem büyüklüğü:

$$n_0 = \frac{1,96^2 \times 0,5 \times (1 - 0,5)}{0,05^2} = 384,16 \quad (3)$$

$$n = \frac{384,16}{1 + \frac{(384,16 - 1)}{46056}} \cong 380,99 \quad (4)$$

Örneklemin hesaplanması sonucunda 381 çalışana ulaşılması durumunda, çalışmanın evreni temsil edebileceği görülmüştür. Çalışmanın örnekleminin meydana getirilmesinde ise örnekleme yöntemi olarak tesadüfi olmayan örnekleme yöntemlerinden kolayda örnekleme yöntemi tercih edilmiştir.

Kolayda örnekleme, evren içerisinde örneklem seçiminde araştırmacı tarafından belirlenen tesadüfi olmayan örnekleme yöntemidir. Kolayda örneklemede veriler, evrenden en kolay, hızlı ve ekonomik şekilde toplanabilmektedir. Türkiye’de yapılan çalışmaların yaklaşık %90’ında kolayda örnekleme yöntemi kullanıldığı ifade edilmektedir (Haşiloğlu, Baran & Aydın, 2015).

Çalışmanın gerçekleştirilebilmesi için İstanbul Aydın Üniversitesi Etik Komisyonu’nun 17.12.2019 tarihli ve 2019/22 sayılı kararıyla Etik Onay alınmıştır. Alınan onay akabinde tesadüfi olmayan örnekleme yöntemi ile Tekirdağ ilindeki tekstil imalat sektöründe faaliyet gösteren üç iş yeri seçilmiştir. Bu işletmelerde 495 kişiyle anket gerçekleştirilmiş, 79 anket eksik bilgi girişi, yanlış kodlama nedeniyle geçersiz sayılıp 416 anket analize dahil edilmiştir. Anket demografik bilgiler, iş güvenliği liderliği ölçeği, iş güvenliği iklimi ölçeği ve iş güvenliği davranış ölçeği olmak üzere 4 bölümden oluşmaktadır. Ölçeklerde 5’li Likert ölçeği (1: Kesinlikle katılıyorum, 2: Katılıyorum, 3: Kararsızım/Bilgim Yok, 4: Katılmıyorum, 5: Hiç katılmıyorum) kullanılmıştır.

#### 2.1.1. İş Güvenliği Liderlik (İGL) Ölçeği

Çalışanların amirlerinin liderliğinin belirlenmesinde Wu (2005) tarafından geliştirilen toplam 45 maddeden oluşan ölçek tercih edilmiştir. Ölçek, yazar tarafından Türkçeye çevrilmiştir. Bu ölçekte “İş güvenliği faaliyetini dürüst bir şekilde yürütebilir.”, “İş güvenliği faaliyetini yürütürken çalışanlara sevecen davranır.”, “Çalışanlar iş güvenliği faaliyetini yerine getirdiklerinde onları takdir eder.”, “İş güvenliği konusunda iyi bir performans sergileyenleri terfi ettirir.” gibi ifadeler bulunmaktadır.

#### 2.1.2. İş Güvenliği İklim (İGI) Ölçeği

Çalışanların amirlerinin liderliğinin belirlenmesinde Wu (2005) tarafından geliştirilen toplam 45 maddeden oluşan ölçek tercih edilmiştir. Ölçek, yazar tarafından Türkçeye çevrilmiştir. Bu ölçekte “İş güvenliği faaliyetini dürüst bir şekilde yürütebilir.”, “İş güvenliği faaliyetini yürütürken çalışanlara sevecen davranır.”, “Çalışanlar iş güvenliği faaliyetini yerine getirdiklerinde onları takdir eder.”, “İş güvenliği konusunda iyi bir performans sergileyenleri terfi ettirir.” gibi ifadeler bulunmaktadır.

#### 2.1.3. İş Güvenliği Davranış (İGD) Ölçeği

İş güvenliği davranış ölçeği olarak Neal, Griffin ve Hart (2000) tarafından geliştirilen toplam 6 maddeden oluşan ölçek tercih edilmiştir. Sorular yazar tarafından Türkçeye çevrilmemiş olup Dursun (2012) tarafından Türkçeye çevrilen sorular kullanılmıştır. Bu ölçekte “İşimi yaparken uygun güvenlik prosedürlerini kullanırım.”, “İş yeri güvenliğinin iyileştirilmesi için fazladan çaba harcarım.” gibi ifadeler bulunmaktadır.

## 2.2. Verilerin Analizi

Anketler aracılığıyla elde edilen verilerin istatistik analizlerinin yapılmasında IBM SPSS Statistics 22, Lisrel 8.8 ve AMOS istatistik paket programları kullanılmıştır. Anlamlılık en az  $p < 0,05$  seviyesinde yapılmıştır. Çalışmada tercih edilen ölçeklerin öncelikle güvenilirlik, keşfedici ve doğrulayıcı faktör analizleri yapılmıştır. Keşfedici faktör analizine uygunluk konusunda ilk olarak KMO (Kaiser Meyer Olkin) değeri ve sonrasında Bartlett küresellik test değerleri incelenmiştir. KMO, örneklemin yeterlilik değerini ifade etmektedir (Can, 2019).

Bartlett'in Küresellik Testinde ise p sayısının 0,05'ten küçük çıkması durumunda ise verilerden faktör çıkarılabilecektir. (Şencan ve Fidan, 2020). KMO değerinin aldığı değerlere göre yeterlilik aralıkları Tablo 2'deki gibidir.

Tablo 2. KMO Yeterlilik Aralıkları (Altunışık vd., 2005; Sharma, 1996; Tavşancıl, 2002).

Yeterlilik	KMO Ölçüt Aralıkları
Mükemmel	0,90-1,00
Oldukça iyi	0,80-0,89
İyi	0,70-0,79
Orta	0,60-0,69
Zayıf	0,50-0,59
Kabul edilemez	<0,50

Tercih edilen ölçeklerin geçerlilik analizlerinde doğrulayıcı faktör analizi kullanılmıştır (Aytaç ve Öngen, 2012). Doğrulayıcı faktör analizinin geçerli olduğunu ifade edebilmek için modele ait uyum indekslerinin katsayılarının (Tablo 3) kabul edilebilir seviyede olması beklenir. Uyumu iyi olan modeller birçok farklı indekste, bazen de hepsinde, tutarlı sonuçlar vermektedir. Bununla beraber CFI ve RMSEA en sık rapor edilen uyum indeksleridir (Ullman, 2015).

Tablo 3. Uyum İndeksleri (Demir ve Akengin, 2010; Dursun ve Kocagöz, 2010; Temel, 2020; Tezcan, 2008).

Uyum İndeksleri	Kabul Edilebilir Uyum Aralıkları
RMSEA	≤ 0,10
NFI	≥ 0,90
NNFI	≥ 0,90
CFI	≥ 0,90
IFI	≥ 0,90
RFI	≥ 0,85
SRMR	≤ 0,08
GFI	≥ 0,90
AGFI	≥ 0,85
X2/df	< 5

Güvenliliğin hesabında sıklıkla başvurulan yöntem olarak Cronbach Alfa Yöntemi (Seçer, 2015) tercih edilmiştir ve değerlendirilmesinde Tablo 4'ten faydalanılmıştır.

Tablo 4. Cronbach Alfa Katsayısı Güvenlilik Aralıkları (Karagöz, 2014).

Güvenlilik	Alfa Katsayısı Aralıkları
Güvenilir değil	0,00 < 0,40
Düşük güvenlilik	0,40 < 0,60
Oldukça güvenilir	0,60 < 0,80
Yüksek derecede güvenilir	0,80 < 1,00

Ölçeklerdeki değişkenlerin birlikte değişimini açıklamak için korelasyon analizi kullanılmıştır (Lorcu, 2015). Korelasyonda amaç iki değişken arasındaki ilişkinin yönünü ve kuvvetini ölçmektir (Erilli, 2015). İki değişken arasındaki ilişkinin önemli özelliklerini açıklayan ve özetleyen r ile gösterilen sayıya korelasyon katsayısı denir (Büyüköztürk, Çokluk & Köklü, 2020). -1 ile +1 arasında değer alan korelasyon katsayısı 1'e yaklaştıkça ilişki o kadar fazla ve güçlü demektir. Korelasyon katsayısının işareti ise ilişkinin yönünü göstermektedir. Pozitif (+) ilişki değişimin yönünün aynı olduğu yani değişkenlerden biri artıyorsa diğerinin arttığını; negatif (-) ilişki ise değişkenlerden birisi artarken diğerinin azaldığını ifade eder (Can, 2019). Korelasyon katsayısının sıfır olması iki değişken arasında ilişki olmadığı durumdur (Taşpınar, 2017). Korelasyon katsayısının değerlendirilmesinde Tablo 5'ten yararlanılmıştır.

Tablo 5. Korelasyon Katsayısı (r) Değer Aralıkları (Karagöz, 2014).

İlişki Büyüklüğü	r Değeri Aralığı
Çok zayıf	0 - 0,25
Zayıf	0,26 - 0,49
Orta	0,50 - 0,69
İyi	0,70 - 0,89
Çok İyi	0,90 - 1,00

### 2.3. Hipotezler

Hipotez, araştırmalarda test edilmek üzere geliştirilen, henüz gerçekliği kesin olmayan varsayım, iddia ve yargılara verilen isimdir (Akarsu ve Akarsu, 2019). Yani test edilebilir değişkenlerle gerçekleştirilir ve araştırmanın konusunu oluşturan sorunun çözümü ile ilgili "özgün" varsayım içerir (Bayat, 2010). Çalışmanın amacına uygun olarak bir sonuca ulaşılabilmesi için oluşturulan ana ve alt hipotezler Tablo 6'da belirtilmiştir.

Tablo 6. Ana ve alt hipotezler

Ana Hipotez	Alt Hipotez	Hipotez Açıklaması
$H_1$		İş güvenliği liderliği ile iş güvenliği iklimi arasında pozitif olarak anlamlı bir ilişki vardır.
	$H_{1a}$	İş güvenliği liderliği ile iş güvenliği iklimi eylem faktörü arasında pozitif olarak anlamlı bir ilişki vardır.
	$H_{1b}$	İş güvenliği liderliği ile iş güvenliği iklimi beklenti faktörü arasında pozitif olarak anlamlı bir ilişki vardır.
$H_2$		İş güvenliği liderliği ile iş güvenliği davranışı arasında pozitif olarak anlamlı bir ilişki vardır.
	$H_{2a}$	İş güvenliği liderliği ile iş güvenliği uyum davranışı arasında pozitif olarak anlamlı bir ilişki vardır.
	$H_{2b}$	İş güvenliği liderliği ile iş güvenliği katılım davranışı arasında pozitif olarak anlamlı bir ilişki vardır.
$H_3$		İş güvenliği iklimi ile iş güvenliği davranışı arasında pozitif olarak anlamlı bir ilişki vardır.
	$H_{3a}$	İş güvenliği iklimi eylem faktörü ile iş güvenliği uyum davranışı arasında pozitif olarak anlamlı bir ilişki vardır.
	$H_{3b}$	İş güvenliği iklimi eylem faktörü ile iş güvenliği katılım davranışı arasında pozitif olarak anlamlı bir ilişki vardır.

$H_{3c}$	İş güvenliği iklimi beklenti faktörü ile iş güvenliği uyum davranışı arasında pozitif olarak anlamlı bir ilişki vardır.
$H_{3d}$	İş güvenliği iklimi beklenti faktörü ile iş güvenliği katılım davranışı arasında pozitif olarak anlamlı bir ilişki vardır.

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

#### 3.1. Demografik Bulgular

Çalışmaya katılan işletmelerdeki çalışanların demografik bulguları Tablo 7’de verilmiştir. Tablo incelendiğinde çalışmaya katılan çalışanların %69,2’si (n=288) erkeklerden, %30,8’ü (n=128) kadınlardan oluşmaktadır. Yaş gruplarına bakıldığında %23,6 17-30 yaş aralığında, %59,9 31-44 yaş aralığında %16,6’sı da 45 ve yaş üstündedir. Katılımcıların yaşları 17-55 arasında değişmekte olup, ortalama yaş  $36,80 \pm 7,53$  yıldır. Çalışma yapılan işletmelerden birinde çıraklık uygulaması olduğundan 17 yaşında bir katılımcı vardır. Çalışmaya katılanların %83,4’ü (n=347) evli, %13,9’u (n=58) bekar, %2,6’sı (n=11) boşanmış/eşi vefat etmiştir. Çalışmaya katılanların eğitim durumlarına bakıldığında ise %36,8’i (n=153) ilköğretim mezunu, %52,9’u (n=220) lise mezunu, %8,2’si (n=34) lisans mezunu, %2,2’si (n=9) lisansüstü

mezunudur. İşteki konularına göre ise katılımcıların %92,3’ü (n=384) çalışan/operatör, %7,7’si (n=32) yöneticidir. Çalışmaya katılanların %14,7’si (n=61) mevcut iş yerlerinde iş kazası geçirdiğini iletmiştir. Mevcut iş yerlerinde iş güvenliği eğitimi alma durumlarına göre dağılımında ise çalışanların %98,3’ü (n=409) iş güvenliği eğitimi aldıklarını, %1,7’si (n=7) iş güvenliği eğitimi almadıklarını belirtmiştir. İş güvenliği eğitimine katılmayanların çalışan/operatör ve kademelerine bakıldığında ise bir kişinin 1 yıl, diğerlerinin 3 yıl ve üzeri zamandır mevcut işletmelerinde çalıştıkları tespit edilmiştir. Eğitime katılmayanlardan sadece bir kişi çalıştığı işletmede iş kazası geçirmiş olup kıdemi 5 yıl, toplam iş tecrübesi ise 13 yıldır. Yapılan yüz yüze görüşmelerde ise çalışanlara neden iş güvenliği eğitimine katılmadıkları sorusu *yöneltildiğinde üretim sıklığı, bazı spesifik makinelerde çalışan kişilerin yedeğinin olmaması ve sürekli benzer konuların anlatılması ve konuların zaten bilindiği* cevapları alınmıştır.

Tablo 7. Demografik Bulgular

Demografik Değişkenler	Aralıklar	Erkek		Kadın		Toplam	
		N	%	N	%	N	%
Yaş	17-30	68	23,6	30	23,4	98	23,6
	31-44	156	54,2	93	72,7	249	59,9
	45 ve üstü	64	22,2	5	3,9	69	16,6
Eğitim durumu	İlkokul/ilköğretim	104	36,11	49	38,28	153	36,8
	Lise	160	55,56	60	46,88	220	52,9
	Lisans	20	6,94	14	10,94	34	8,2
	Lisansüstü	4	1,39	5	3,91	9	2,2
Medeni durum	Evli	235	81,6	112	87,5	347	83,4
	Bekar	49	17,01	9	7,03	58	13,9
	Boşanmış / Eşi vefat etmiş	4	1,39	7	5,47	11	2,6
İşteki konum	Çalışan/Operatör	267	92,71	117	91,41	384	92,3
	Yönetici	21	7,29	11	8,59	32	7,7
Mevcut iş yerinde kaza geçirme durumu	Evet	42	14,58	19	14,84	61	14,7
	Hayır	246	85,42	109	85,16	355	85,3
İş güvenliği eğitim alma durumu	Evet	282	97,92	127	99,22	409	98,3
	Hayır	6	2,08	1	0,78	7	1,7
	Toplam	288	100	128	100	416	100

#### 3.2. Geçerlilik ve Güvenirlik Bulguları

Ölçeklerin keşfedici faktör analizinde Varimax rotasyonu uygulanmış olup faktör analizine tabi tutulmuştur. İş güvenliği liderliği ölçeğinde yükleri %40’ın altında olan 2 soru (25 ve 33) analizden çıkarılmıştır. Faktör analizi uygulandığında iş güvenliği liderliği ölçeğinin tek faktör altında (varyansın %46,32’sini açıklamaktadır), iş güvenliği iklimi ölçeğinin iki faktör altında (varyansın %60,34’ünü açıklamaktadır), iş güvenliği davranış ölçeğinin iki faktör altında (varyansın %77,92’sini açıklamaktadır) toplandığı görülmüştür.

Tablo 8 incelendiğinde KMO değerinin İGL ölçeği için 0,965, İGİ ölçeği için 0,810, İGD ölçeği için 0,826’dır. Bu sonuçlara göre ilgili değerlerin oldukça iyi ve verilerden analiz yapılması için uygun olduğu görülmektedir. Sonuçlar değerlendirildiğinde bu hipotez her iki ölçek için de anlamlılık  $p < 0,001$  düzeyinde reddedilmiştir. Buna göre maddeler arasında ilişkinin varlığını göstermek için faktör analizinin uygulanabileceği düşünülmektedir (Hair vd., 1998; Osmanoğlu vd, 2018).

Tablo 8. İGL, İGİ ve İGD Ölçeklerinin KMO ve Bartlett's Küresellik Testi Sonuçları.

		İGL	İGİ	İGD
KMO Örneklem Yeterlilik Ölçümü		0,965	0,810	0,826
Bartlett's Küresellik Testi	Ki kare	12860,762	1693,534	1387,428
	Serbestlik derecesi	903	45	14
	Anlamlılık	0,001	0,001	0,001

İGL, İGİ ve İGD ölçekleri için doğrulayıcı faktör analizine ait uyum ölçütleri Tablo 9'da verilmiştir. Sonuçlara göre uyum değerleri kabul edilebilir uyum göstermeleri sebebiyle verilerin

Kabul edilebilir uyuma sahip olduğu ve ölçeklerin istatistiksel olarak anlamlı ve geçerli olduğu görülmüştür ( $p=0,001$ ;  $p<0,01$ ).

Tablo 9. İGL, İGİ, İGD Ölçeklerinin Doğrulayıcı Faktör Analizi Uyum Ölçütleri.

İndeksler	İGL Ölçeği		İGİ Ölçeği		İGD Ölçeği	
	Sonuçlar	Uyum	Sonuçlar	Uyum	Sonuçlar	Uyum
RMSEA	0,10	K.E.	0,097	K.E.	0,10	K.E.
NFI	0,95	K.E.	0,93	K.E.	0,96	K.E.
NNFI	0,96	K.E.	0,93	K.E.	0,95	K.E.
CFI	0,96	K.E.	0,94	K.E.	0,96	K.E.
IFI	0,96	K.E.	0,94	K.E.	0,96	K.E.
RFI	0,95	K.E.	0,91	K.E.	0,92	K.E.
SRMR	0,065	K.E.	0,075	K.E.	0,055	K.E.
GFI	0,62	-	0,93	K.E.	0,94	K.E.
AGFI	0,58	-	0,88	K.E.	0,84	-
X <sup>2</sup> /df	4,4	K.E.	4,6	K.E.	10,3	-

Ölçeklerin güvenilirlik değerleri ise Tablo 10'da verilmiştir. İGL ölçeği güvenilirlik değeri 0,972 olarak çıkmış olup, ölçek yüksek derecede güvenilir olarak belirlenmiştir. İGİ ölçeği güvenilirlik değerini belirten Cronbach Alfa Katsayısı değerleri

incelendiğinde; eylem faktörü 0,758, beklenti faktörü 0,879 ve ölçek toplamı 0,717 olarak çıkmış olup, ölçeğin oldukça güvenilir çıktığı değerlendirilmiştir.

Tablo 10. İGL, İGİ, İGD Ölçekleri Güvenirlik Değeri.

	Madde Sayısı	Sorular	Cronbach's Alpha
<b>Toplam İş Güvenliği Liderliği</b>	43	1-45 (2 soru hariç)	0,972
<b>Toplam İş Güvenliği İklimi</b>	10	1-10	0,717
Eylem Faktörü	5	1, 2, 3, 4, 5	0,758
Beklenti Faktörü	5	6, 7, 8, 9, 10	0,879
<b>Toplam İş Güvenliği Davranışı</b>	6	1-10	0,878
Uyum Faktörü	3	1, 2, 3	0,874
Katılım Faktörü	3	4, 5, 6	0,818

### 3.3. İlişki Analizi Bulguları

Tercih edilen ölçekler ve faktörleri arasındaki ilişkilerle ilgili korelasyon analiz sonucu Tablo 11'de verilmiştir.

Değişkenler normal dağılıma sahip olduğundan Pearson korelasyon analizi kullanılmıştır.

Tablo 11. İGL, İGİ, İGD Ölçekleri Korelasyon Analiz Sonuçları.

		r	p	İlişki
İGL Ölçeği	- İGİ Ölçeği			
İGL Toplam	- Eylem	0,556	0,001**	Orta
İGL Toplam	- Beklenti	-0,120	0,014*	Çok zayıf
İGL Toplam	- İGİ Toplam	0,444	0,001**	Zayıf
İGL Ölçeği	- İGD Ölçeği			
İGL Toplam	- Uyum	0,459	0,001**	Zayıf
İGL Toplam	- Katılım	0,499	0,001**	Zayıf
İGL Toplam	- İGD Toplam	0,534	0,001**	Orta
İGİ Ölçeği	- İGD Ölçeği			
Eylem	- Uyum	0,364	0,001**	Zayıf

Beklenti	- Uyum	-0,195	0,001**	Çok zayıf
Eylem	- Katılım	0,466	0,001**	Zayıf
Beklenti	- Katılım	-0,084	0,086	-
İGİ Toplam	- İGD Toplam	0,413	0,001**	Zayıf

r: Pearson korelasyon katsayısı      \*p<0,05      \*\*p<0,0

İş güvenliği liderlik ölçeği ile iş güvenliği iklimi ölçeği puanları ilişkisi;

İş güvenliği liderlik ölçeği toplam puanı ile iş güvenliği iklimi ölçeği toplam puanı arasında pozitif yönlü (toplam liderlik olarak puan arttıkça, iş güvenliği iklimi eylem boyutu puanı da artar) istatistiki olarak anlamlı zayıf ilişki saptanmıştır ( $r=0,444$ ;  $p=0,001$ ;  $p<0,01$ ). Zayıf bir ilişki olsa da çalışma yapılan işletmelerde iş güvenliği liderliği arttıkça, iş güvenliği ikliminin artacağı söylenebilir.

“H<sub>1</sub>: iş güvenliği liderliği ile iş güvenliği iklimi arasında pozitif olarak anlamlı bir ilişki vardır.” hipotezi kabul edilmiştir.

İş güvenliği liderlik ölçeği toplam puanı ile iş güvenliği iklimi eylem faktörü puanı arasında pozitif yönlü istatistiki olarak anlamlı orta düzeyde ilişki saptanmıştır ( $r=0,556$ ;  $p=0,001$ ;  $p<0,01$ ). Çalışma yapılan işletmelerde iş güvenliği liderliği arttıkça iş güvenliği iklimi eyleminin artacağı söylenebilir.

“H<sub>1a</sub>: iş güvenliği liderliği ile iş güvenliği iklimi eylem faktörü arasında pozitif olarak anlamlı bir ilişki vardır.” hipotezi kabul edilmiştir.

İş güvenliği liderlik ölçeği toplam puanı ile iş güvenliği iklimi beklenti faktörü puanı arasında negatif yönlü (toplam liderlik puanı arttıkça, beklenti puanı azalan) istatistiki olarak anlamlı çok zayıf ilişki saptanmıştır ( $r=-0,120$ ;  $p=0,014$ ;  $p<0,05$ ). Burada çok zayıf bir ilişki olsa da çalışma yapılan işletmelerde iş güvenliği liderliği arttıkça, iş güvenliği iklimi beklentisinin azalacağı söylenebilir.

“H<sub>1b</sub>: iş güvenliği liderliği ile iş güvenliği iklimi beklenti faktörü arasında pozitif olarak anlamlı bir ilişki vardır.” hipotezi kabul edilmemiştir.

İş güvenliği liderlik ölçeği ile iş güvenliği davranış ölçeği puanları ilişkisi;

İş güvenliği liderlik ölçeği toplam puanı ile iş güvenliği davranışı toplam puanı arasında pozitif yönlü istatistiki olarak anlamlı orta düzeyde ilişki saptanmıştır ( $r=0,534$ ;  $p=0,001$ ;  $p<0,01$ ). Çalışma yapılan işletmelerde iş güvenliği liderliği arttıkça, olumlu yönde iş güvenliği davranışı sergilemenin artacağı söylenebilir.

“H<sub>2</sub>: iş güvenliği liderliği ile iş güvenliği davranışı arasında pozitif olarak anlamlı bir ilişki vardır.” hipotezi kabul edilmiştir.

İş güvenliği liderlik ölçeği toplam puanı ile iş güvenliği uyum davranış puanı arasında pozitif yönlü istatistiki olarak anlamlı zayıf ilişki saptanmıştır ( $r=0,459$ ;  $p=0,001$ ;  $p<0,01$ ). Zayıf bir ilişki olsa da çalışma yapılan işletmelerde iş güvenliği liderliği arttıkça, iş güvenliği uyum davranışının artacağı söylenebilir.

“H<sub>2a</sub>: iş güvenliği liderliği ile iş güvenliği uyum davranışı arasında pozitif olarak anlamlı bir ilişki vardır.” hipotezi kabul edilmiştir.

İş güvenliği liderlik ölçeği toplam puanı ile iş güvenliği katılım davranış puanı arasında pozitif yönlü istatistiki olarak anlamlı zayıf ilişki saptanmıştır ( $r=0,499$ ;  $p=0,001$ ;  $p<0,01$ ). Zayıf bir ilişki olsa da çalışma yapılan işletmelerde iş güvenliği liderliği arttıkça, iş güvenliği uyum davranışının artacağı söylenebilir.

“H<sub>2b</sub>: iş güvenliği liderliği ile iş güvenliği katılım davranışı arasında pozitif olarak anlamlı bir ilişki vardır.” hipotezi kabul edilmiştir.

İş güvenliği iklim ölçeği ile iş güvenliği davranış ölçeği puanları ilişkisi;

İş güvenliği iklimi ölçeği toplam puanı ile iş güvenliği davranış ölçeği toplam puanı arasında pozitif yönlü istatistiki olarak anlamlı zayıf ilişki saptanmıştır ( $r=0,413$ ;  $p=0,001$ ;  $p<0,01$ ). Zayıf bir ilişki olsa da çalışma yapılan işletmelerde iş güvenliği iklimi yükseldikçe, olumlu yönde iş güvenliği davranışı sergilemenin artacağı söylenebilir.

“H<sub>3</sub>: iş güvenliği iklimi ile iş güvenliği davranışı arasında pozitif olarak anlamlı bir ilişki vardır.” hipotezi kabul edilmiştir.

İş güvenliği iklim eylem faktör puanı ile iş güvenliği uyum davranış puanı arasında pozitif yönlü istatistiki olarak anlamlı zayıf ilişki saptanmıştır ( $r=0,364$ ;  $p=0,001$ ;  $p<0,01$ ). Zayıf bir ilişki olsa da çalışma yapılan işletmelerde iş güvenliği iklim şartları yükseldikçe, iş güvenliği uyum davranışının artacağı söylenebilir.

“H<sub>3a</sub>: iş güvenliği iklimi eylem faktörü ile iş güvenliği uyum davranışı arasında pozitif olarak anlamlı bir ilişki vardır.” hipotezi kabul edilmiştir.

İş güvenliği iklim eylem faktör puanı ile iş güvenliği katılım davranış puanı arasında pozitif yönlü istatistiki olarak anlamlı zayıf ilişki saptanmıştır ( $r=0,466$ ;  $p=0,001$ ;  $p<0,01$ ). Zayıf bir ilişki olsa da çalışma yapılan işletmelerde iş güvenliği iklimi eylem boyutu yükseldikçe, iş güvenliği katılım davranışının artacağı söylenebilir.

“H<sub>3b</sub>: iş güvenliği iklimi eylem faktörü ile iş güvenliği katılım davranışı arasında pozitif olarak anlamlı bir ilişki vardır.” hipotezi kabul edilmiştir.

İş güvenliği iklim beklenti faktörü puanı ile iş güvenliği uyum davranış puanı arasında negatif yönlü istatistiki olarak anlamlı çok zayıf ilişki saptanmıştır ( $r=-0,195$ ;  $p=0,001$ ;  $p<0,01$ ). Çok zayıf bir ilişki olsa da çalışma yapılan işletmelerde iş güvenliği iklim şartları yükseldikçe, iş güvenliği uyum davranışı sergilemenin azalacağı söylenebilir.

“H<sub>3c</sub>: iş güvenliği iklimi beklenti faktörü ile iş güvenliği uyum davranışı arasında pozitif olarak anlamlı bir ilişki vardır.” hipotezi kabul edilmemiştir.

İş güvenliği iklim beklenti faktör puanı ile iş güvenliği katılım davranış puanı arasında istatistiki olarak anlamlı ilişki saptanmamıştır ( $p>0,05$ ).

"H<sub>3d</sub>: iş güvenliği iklimi beklenti faktörü ile iş güvenliği katılım davranışı arasında pozitif olarak anlamlı bir ilişki vardır." hipotezi kabul edilmemiştir.

#### 4. Sonuç

Bu çalışma Tekirdağ ilinde, tekstil imalat sektöründe faaliyet gösteren üç farklı işletmede gerçekleştirilmiştir. Çalışmada çalışanların iş güvenliği liderliği ve iş güvenliği iklimi algıları ile sergiledikleri iş güvenliği davranışları arasındaki ilişki tespit edilmeye çalışılmıştır.

Çalışmanın gerçekleştirildiği işletmelerde erkek çalışanların (%69,2) fazla olduğu görülmüştür. Yaş aralıklarında ise 31-44 yaş aralığında (%59,9) çalışan sayısının en çok olduğu tespit edilmiştir. Çalışmada evli olan çalışanların yüzdesi %83,4 olarak ortaya çıkmıştır. Çalışmaya katılanların eğitim durumlarına bakıldığında ise çalışanlar ağırlıklı olarak lise mezunudur (%52,9). Çalışma yapılan katılımcıların %92,3'ü çalışan/operatördür. Çalışma yapılan işletmelerde iş güvenliği eğitimi alma durumuna göre ise çalışanların %1,7'si (n=7) iş güvenliği eğitimi almadıklarını belirtmiştir. Yapılan birebir görüşmelerde üretim sıklığı, bazı spesifik makinelerde çalışan yedeklemesi olmaması ve sürekli benzer konuların anlatıldığı ve konuların bilindiğinin iddia edilmesi nedenleriyle eğitime katılım sağlanmadığı bilgisi alınmasına karşın iş verenlerin, iş güvenliği eğitimine her ne sebeple olursa olsun çalışana gönderme ve çalışanların da iş güvenliği eğitimlerine katılma sorumluluğu bulunduğunu hatırlatmak gerekir.

İş güvenliği liderliği, iş güvenliği iklimi ve iş güvenliği davranışı arasındaki ilişkilere bakıldığında ise, iş güvenliği liderliği ile iş güvenliği iklimi beklenti faktörü arasındaki ilişki haricinde tüm ilişkilerin pozitif ve anlamlı olduğu görülmüştür. Bu bize, iş güvenliği liderliğinin etkin olarak gösterildiği ve var olduğu işletmelerde, yönetimin iş güvenliği iklimini oluşturmadaki eylemlerinin yükseldiğini göstermektedir. Ayrıca iş güvenliği liderliğinin etkin olarak görüldüğü iş yerlerinde, çalışanların sergiledikleri iş güvenliği uyum ve katılım davranışları ile toplam iş güvenliği davranışları olumlu seyretmektedir. Metal sektöründe Acar (2019) tarafından yapılan benzer bir çalışmada da iş güvenliği liderliği etkin olduğunda iş güvenliği uyum ve katılım davranışlarının arttığı ifade edilmiştir.

İş güvenliği iklimi ile iş güvenliği davranışı arasındaki ilişki incelendiğinde ise makro düzeyde iş güvenliği iklimi yüksek olan işletmelerde olumlu iş güvenliği davranışı sergileme eğilimi yükselmektedir. Bununla beraber mikro düzeydeki ilişkilerde farklılıklar çıkmaktadır. İşletme yönetimlerinin iş güvenliği iklimi oluşturmak için gerçekleştirdikleri eylemlerin, çalışanların iş güvenliği davranışlarını olumlu yönde etkilediği görülmektedir. Ancak yönetimlerden iş güvenliği iklimini oluşturmak için yapması beklenen görevler, çalışanların iş güvenliği kurallarına uymalarını olumlu yönde etkilemediği hatta ters yönde etkilediği görülmüştür. Yönetimlerin iş güvenliği iklimi oluşturmakta yetersiz kaldığı, çalışanların da algılarında bu yetersizliği kolaylıkla saptanabildiği görülmüştür. Çalışanların iş güvenliğine katılım göstermelerinde ise yönetimlerin oluşturmaya çalıştıkları iş güvenliği iklimi ile hiçbir ilişkileri bulunmamaktadır.

Sonuç olarak tekstil imalat endüstrisinde çalışanların, iş güvenliği liderliği algılarının yüksek olduğu ve iş güvenliği liderliğinin iş güvenliği davranışlarını olumlu etkilediği görülmektedir. Etkin ve güçlü bir iş güvenliği liderliğinin, iş

yerinin iş güvenliği iklimini yükseltmede rolü olduğu söylenebilir. Buradan yola çıkılarak, iş yeri iş güvenliği iklim seviyesi düşük olan işletmelerin, etkin ve güçlü iş güvenliği liderliği ile bu seviyeleri yükseltebilecekleri ifade edilebilir. Bu olumlu sonuçların yanında, iş güvenliği ikliminin beklenti faktörü ile iş güvenliği liderliği ve iş güvenliği uyum davranışı arasında negatif bir ilişki, iş güvenliği katılım davranışında ise hiçbir ilişki saptanmamıştır. Bu bize iş güvenliği iklimini oluşturmada yönetimlerin daha fazla çaba sarf etmesi gerektiğini göstermektedir. Yönetimlerin, iş güvenliği iklimini yükseltmek için yapmaları gerekenler analiz edilerek, iş güvenliği iklimi algısının artırılmasında yapılabilecek çalışmalar ayrı bir araştırma konusu olarak önerilebilir.

#### Kaynakça

- Acar, H. (2019). İş güvenliği liderliği, iş güvenliği iklimi ve iş güvenliği davranışı arasındaki ilişki: metal üretim sektöründe bir araştırma. Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı İnsan Kaynakları Yönetimi Bilim Dalı, İstanbul, Türkiye, 111.
- Akarsu, B. & Akarsu, B. (2019). *Bilimsel Araştırma Tasarımı*. İstanbul: Cinius Yayınları, 4.
- Alruqi, W. M., Hollowell, M. R. and Techera, U. (2018). Safety climate dimensions and their relationship to construction safety performance: A meta-analytic review. *Safety science*, 109, 165-173.
- Altunışık, R., Coşkun, R., Bayraktaroğlu, S. ve Yıldırım, E. (2005). *Sosyal Bilimlerde Araştırma Yöntemleri*. Sakarya: Sakarya Kitabevi, 217.
- Ashkanasy, N.M. ve Jackson C.R.A. (2009). Örgüt Kültürü ve İklimi. Anderson N., Öneş D.S., Sinangil H.K., Viswesvaran C. (Ed.) *Endüstri, İş ve Örgüt Psikolojisi El Kitabı* (2. Cilt), (463-483). İstanbul: Literatür Yayıncılık.
- Aytaç, M. ve Öngen, B. (2012). Doğrulamalı faktör analizi ile yeni çevresel paradigma ölçeğinin yapı geçerliliğinin incelenmesi. *İstatistikçiler Dergisi: İstatistik ve Aktüerya*, 5(1), 14-22.
- Barling, J., Loughlin, C. and Kelloway, E. K. (2002). Development and test of a model linking safety-specific transformational leadership and occupational safety. *Journal of applied psychology*, 87(3), 488-496.
- Bayat, B. (2010). Pozitivist Sosyal Bilim Araştırmalarında Doğrulama ve Genelleme; Epistemolojik Bir İnceleme. *Çalışma İlişkileri Dergisi*, 7(1), 1-11.
- Bosak, J., Coetsee, W. J. and Cullinane, S. J. (2013). Safety climate dimensions as predictors for risk behavior. *Accident Analysis & Prevention*, 55, 256-264.
- Büyüköztürk, Ş., Çokluk, Ö. & Köklü, N. (2020). *Sosyal bilimler için istatistik*. Ankara: Pegem Akademi, 79.
- BSMS. (2020). Safety Behavior. <http://www.behavioural-safety.com/b-safe-management-solutions/our-approach/safety-behavior/> (Erişim tarihi: 24.08.2020)
- Can, A. (2019). *SPSS ile bilimsel araştırma sürecinde nicel veri analizi*. Ankara: Pegem Akademi, 325.
- Casey, T. W., & Griffin, M. A. (2020). *Lead Safety: A Practical Handbook for Frontline Supervisors and Safety Practitioners*. CRC Press, 1.
- Cooper, D. (1998). *Improving safety culture: A practical guide*. Chichester: Wiley, 30.
- Coyle, I. R., Sleeman, S. D. and Adams, N. (1995). Safety climate. *Journal of Safety research*, 26(4), 247-254.

- ÇSGB İSGGM. (2017). Tekstil Sektörü İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Sistemi Rehberi. <https://www.ailevecalisma.gov.tr/medias/7043/tekst%C4%B0l-sektoer%C3%BC-%C4%B0sgys-rehber%C4%B0.pdf> (Erişim tarihi: 19.04.2021)
- Demir, S.B. & Akengin, H. (2010). Sosyal Bilgiler Dersine Yönelik Bir Tutum Ölçeğinin Geliştirilmesi: Geçerlik ve Güvenirlik Çalışması. *E-Uluslararası Eğitim Araştırmaları Dergisi*, 1(1), 26-40.
- Donovan, S. L., Salmon, P. M. and Lenné, M. G. (2016). Leading with style: a literature review of the influence of safety leadership on performance and outcomes. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 17(4), 423-442.
- Dursun, Y. & Kocagöz, E. (2010). Yapısal Eşitlik Modellemesi ve Regresyon: Karşılaştırmalı Bir Analiz. *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, (35), 1-17.
- Efe, Ö.F. (2018). Tekstil sektöründe iş kazalarının ve meslek hastalıklarının üretime ve kaliteye etkilerinin incelenmesi. Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, Türkiye, 21.
- Ergin, H., & Mergen, A. (2017). Hazır giyim mağazacılık sektöründe iş kazaları ve çözüm önerileri: Örnek bir uygulama. *Marmara Fen Bilimleri Dergisi*, 29(1), 29-38.
- Erilli, N.A. (2015). *İstatistik-2*. Ankara: Seçkin Yayınları, 218.
- Griffin, M. A., & Neal, A. (2000). Perceptions of safety at work: a framework for linking safety climate to safety performance, knowledge, and motivation. *Journal of occupational health psychology*, 5(3), 347.
- Hackitt, J. (2013). Committing afresh to a global safety culture. <http://app.croneri.co.uk/feature-articles/piper-alpha-25-years/> (Erişim tarihi: 27.08.2020)
- Hair, J. F., Anderson, R. E., Tahtam, R. L. and Black, W. C. (1998). *Multivariate Data Analysis*. New Jersey: Prentice Hall International Inc., 374.
- Hofmann, D. A., Burke, M. J. and Zohar, D. (2017). 100 years of occupational safety research: From basic protections and work analysis to a multilevel view of workplace safety and risk. *Journal of applied psychology*, 102(3), 375-388.
- Hofmann D.A. & Morgeson F.P. (2004). The Role of Leadership in Safety, in Barling, J. E., & Frone, M. R. (Ed.) *The Psychology of Workplace Safety*. (159-177). American Psychological Association.
- Karagöz, Y. (2014). *SPSS 21.1 Uygulamalı Biyoistatistik*. Ankara: Nobel Akademik Yayıncılık, 698.
- Kurt, T., & Çalık, T. (2010). Okul iklimi ölçeği'nin (OİÖ) geliştirilmesi. *Eğitim ve Bilim*, 35(157).
- Mirza, M. Z. and Isha, A. S. N. (2017). Context matters: A research agenda to move beyond conventional leadership-safety relationship. *Safety Science*, 98, 167-173.
- Moon, K., Lee, J., & Oah, S. (2013). The effects of safety leadership of manager and safety climate in the organization on the workers' safety behaviors. *Journal of the Korean Society of Safety*, 28(2), 66-72.
- Mullen, J. E., & Kelloway, E. K. (2009). Safety leadership: A longitudinal study of the effects of transformational leadership on safety outcomes. *Journal of occupational and organizational psychology*, 82(2), 253-272.
- Neal, A., & Griffin, M. A. (2002). Safety climate and safety behaviour. *Australian journal of management*, 27(1\_suppl), 67-75.
- Neal, A., Griffin, M. A., & Hart, P. M. (2000). The impact of organizational climate on safety climate and individual behavior. *Safety science*, 34(1-3), 99-109.
- Olçay, Z. F. (2021). İş Sağlığı ve Güvenliği Kültürü Ölçeği; Geçerlik ve Güvenirlik Çalışması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (23), 678-685.
- Olçay Z.F., Temur S., & Sakalli A.E. (2021). A research on the knowledge level and safety culture of students taking occupational health and safety course. *Cypriot Journal of Educational Sciences*, 16(1), 187-200.
- Osmanoğlu, H., Üzüm, H., Karlı, Ü. ve Aycan, A. (2018). Spor Turizmi Hizmet Kalitesi Ölçeği Geçerlik ve Güvenirlik Çalışması. *International Journal of Economic & Social Research*, 14(1), 121-134.
- Pilbeam, C., Doherty, N., Davidson, R. and Denyer, D. (2016). Safety leadership practices for organizational safety compliance: Developing a research agenda from a review of the literature. *Safety Science*, 86, 110-121.
- Rammerö, J. & Törneke N. (2017). *İnsan Davranışlarının ABC'si*. İstanbul: Litera Yayıncılık, 26.
- Sharma, S. (1996). *Applied Multivariate Techniques*. New York: Jhonn Wiley & Sons Inc., 116.
- Şencan, H. ve Fidan, Y. (2020). Likert Verilerinin Kullanıldığı Keşfedici Faktör Analizlerinde Normallik Varsayımı ve Faktör Çıkarma Üzerindeki Etkisinin SPSS, Factor ve Prelis Yazılımlarıyla Sınanması. *Business & Management Studies: An International Journal*, 8(1), 640-687.
- SGK, (2020). SGK İstatistik Yıllıkları. [http://www.sgk.gov.tr/wps/portal/sgk/tr/kurumsal/istatistik/s\\_gk\\_istatistik\\_yilliklari/](http://www.sgk.gov.tr/wps/portal/sgk/tr/kurumsal/istatistik/s_gk_istatistik_yilliklari/) (Erişim tarihi: 16.09.2020)
- Şişman, M. (2014). *Örgütler ve Kültürler*. Ankara: Pegem Akademi, 155.
- Taşpınar, M. (2017). *Sosyal Bilimlerde SPSS Uygulamalı Nicel Veri Analizi*. Ankara: Pegem Akademi, 194.
- Tavşancıl, E. (2002). *Tutumların Ölçülmesi ve SPSS ile Veri Analizi*. Ankara: Nobel Yayıncılık, 50.
- Temel, B. (2020). İş sağlığı ve güvenliği uygulamalarının yapısal eşitlik modeli kullanılarak iş ortamındaki parametreler üzerine etkisinin araştırılması: Elektrik-elektronik sektöründe uygulama. Doktora Tezi, İstanbul Aydın Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İş Sağlığı ve Güvenliği Bilim Dalı, İstanbul, Türkiye.
- Tezcan, C. (2008). Yapısal Eşitlik Modelleri. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İstatistik Anabilim Dalı, Ankara, Türkiye.
- Türkiye İhracatçılar Meclisi (TİM). (2020). <https://tim.org.tr/ihracat-rakamlari> (Erişim tarihi: 19.04.2021)
- Ticaret Bakanlığı İhracat Genel Müdürlüğü. (2020). Hazır Giyim Sektör Raporu. [https://ticaret.gov.tr/data/5b87000813b8761450e18d7b/Haz%C4%B1r%20Giyim%20Sekt%C3%B6r%C3%BC\\_2018.pdf](https://ticaret.gov.tr/data/5b87000813b8761450e18d7b/Haz%C4%B1r%20Giyim%20Sekt%C3%B6r%C3%BC_2018.pdf) (Erişim tarihi: 19.04.2021)
- Ullman, J.B. (2015). Yapısal Eşitlik Modelleme. Tabachnick, B. G., and Fidell, L. S. (Ed.) *Çok Değişkenli İstatistiklerin Kullanımı*, (681-785), Ankara: Nobel.
- Wu, T.C. (2005). The validity and reliability of safety leadership scale in universities of Taiwan. *International Journal of Technology and Engineering Education*, 2(1), 27-42.
- Zohar, D. (2000). A group-level model of safety climate: testing the effect of group climate on microaccidents in manufacturing jobs. *Journal of Applied Psychology*, 85(4), 587-596.



# Kümeleme Performansını Ölçmek için Yeni Bir Yöntem ve Metin Kümeleme için Değerlendirmesi

Murat Aslanyürek<sup>1\*</sup>, Altan Mesut<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Kırklareli Üniversitesi, Pınarhisar MYO, Bilgisayar Programcılığı Programı, Kırklareli, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-3296-4395), [m.aslanyurek@klu.edu.tr](mailto:m.aslanyurek@klu.edu.tr)

<sup>2</sup> Trakya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Edirne, Türkiye (ORCID: 0000-0002-1477-3093), [altanmesut@trakya.edu.tr](mailto:altanmesut@trakya.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 5 Mayıs 2021 ve Kabul Tarihi 15 Ağustos 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.932938)

**ATIF/REFERENCE:** Aslanyürek, M., Mesut, A. (2021). Kümeleme Performansını Ölçmek için Yeni Bir Yöntem ve Metin Kümeleme için Değerlendirmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (27), 53-65.

## Öz

Bu çalışmada kümeleme performansını ölçmek için kullanılabilir alternatif bir yöntem önerilmiştir. Önerilen yöntemin tutarlılığını test etmek için, Wikipedia makale özetlerinden oluşan iki farklı veri kümesinde k-Means, k-Medoids ve CLARANS yöntemleri ile kümelemeler yapılmış ve hem önerdiğimiz yöntem hem de mevcut yöntemler ile performans ölçümleri hesaplanmıştır. Sadece İngilizce özetlerin olduğu ilk veri kümesi farklı sayıda kümelere ayrılarak test edilmiştir. Özetlerin içeriği hakkında önceden bilgi sahibi olunmadığı için ne kadar doğru kümelendiğini değerlendirmek için dahili yöntemler olan Silhouette, Calinski-Harabasz ve Davies-Bouldin indeksleri kullanılmıştır. 6 farklı dile ait Wikipedia özetlerini içeren ikinci veri kümesi ise özetlerin dillerine göre sınıflanmış olması için kümeleme yöntemleri ile 6 kümeye ayrılmıştır. Veri kümesindeki metinlerin hangi dile ait olduğu önceden bilindiği için kümelemenin başarısı hem dahili hem de harici yöntemler ile ölçülebilmektedir. Veri sıkıştırma algoritmalarının birbirine benzer metinlerin olduğu bir dosyayı, birbirinden farklı metinlerin olduğu dosyaya göre daha iyi sıkıştırdığı bilindiğinden, sıkışma oranının alternatif bir değerlendirme ölçütü olarak kullanılabilirliği önerilmiştir. Silhouette, Calinski-Harabasz ve Davies-Bouldin indeksleri gibi dahili yöntemlere göre çok daha hızlı hesaplanabilen önerilen Sıkıştırma Oranı İndeksi (SOİ), 4 farklı sıkıştırma algoritması ile test edilmiş ve ikinci veri kümesinde kullanılan 9 harici yöntemle de aynı sonuçları vermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** kümeleme değerlendirme ölçütü, kümeleme algoritmaları, veri sıkıştırma, kısa metinleri kümeleme.

## A New Method to Measure Clustering Performance and its Evaluation for Text Clustering

### Abstract

In this study, an alternative method that can be used to measure clustering performance is proposed. In order to test the consistency of the proposed method, two different data sets consisting of Wikipedia abstracts were clustered with k-Means, k-Medoids and CLARANS methods and performance measurements were calculated with both the proposed method and the existing methods. The first data set containing only English summaries was tested by dividing it into different numbers of clusters. Since there was no prior knowledge of the content of the abstracts, the internal methods Silhouette, Calinski-Harabasz, and Davies-Bouldin were used to evaluate how accurately they were clustered. The second data set, which includes Wikipedia abstracts of 6 different languages, is divided into 6 clusters with clustering methods to classify the abstracts according to their language. Since the language of the summaries in the data set is known beforehand, the success of clustering could be measured by both internal and external methods. Since it is known that data compression algorithms compress a file with similar texts better than a file with different texts, it has been suggested that compression ratio can be used as an alternative evaluation metric. The proposed Compression Ratio Index (CRI), which can be calculated much faster than internal methods such as Silhouette, Calinski-Harabasz and Davies-Bouldin indexes, was tested with 4 different compression algorithms and yielded the same results with 9 external methods used in the second data set.

**Keywords:** clustering evaluation metric, clustering algorithms, data compression, clustering short texts

\* Sorumlu Yazar: [m.aslanyurek@klu.edu.tr](mailto:m.aslanyurek@klu.edu.tr)



## 1. Giriş

İnternetin ve sosyal medyanın kullanımının artması ile, haber sitelerindeki köşe yazıları ve bunlara yapılan yorumlar, twitter ortamındaki tweetler, diğer sosyal medya platformlarındaki paylaşımlar, e-ticaret sitelerindeki kullanıcı yorumları ve makale özetleri gibi birçok kısa metin veri tabanlarında depolanmaktadır. Bu kısa metinlerin giderek artması, farklı çalışma alanları oluşmasını sağlamıştır. Özellikle doğal dil işleme uygulamalarında kısa metinleri kümelemeye yönelik ilgi her geçen gün artmaktadır. Literatürde metin kümeleme ile ilgili birçok çalışma bulunmasına rağmen, kısa metinlerin kümelmesi ile ilgili çalışmalar daha az olup halen üzerinde çalışılan bir konudur.

Yapılan kümeleme işleminin ne kadar başarılı olduğunu ölçmek için farklı ölçütler kullanılmaktadır. Rendón ve ark., kümeleme performansını ölçmek için kullanılabilir yöntemleri dahili (internal) ve harici (external) yöntemler olarak 2 grupta ele almışlardır (Rendón ve ark, 2011). Gerçek küme veya sınıf etiketlerinin bulunduğu durumlarda, harici yöntemler olarak bilinen Homojenlik, Tamlik, V-indeksi ve Rand indeksi gibi ölçütlerin yanı sıra sınıflandırma yöntemlerinin başarısını ölçmede de kullanılan Doğruluk, Kesinlik, Duyarlılık ve F1 Skoru gibi ölçütler de kullanılabilir. Fakat kümeleme analizi çoğunlukla sınıfı bilinmeyen yani etiketsiz veri üzerinde yapılır ve bu tür bir kümelemenin başarısını ölçmek için dahili yöntemler olarak bilinen ve oluşan kümelerin analiz edilmesini gerektirdiği için çok daha yavaş olan Silhouette, Calinski-Harabasz ve Davies-Bouldin gibi indeksler kullanılır.

Bu çalışmada sınıf etiketleri bilinmeyen metinler üzerinde yapılan kümelemenin ne kadar iyi yapıldığının ölçülebilmesi için metinlerin sıkışabilir oranına dayalı, mevcut dahili yöntemlerden çok daha hızlı hesaplanabilen yeni bir yöntem önerilmektedir. SOİ (Sıkıştırma Oranı İndeksi) adı verilen bu yöntemin dayanağı, bir metinde birbirine benzer kelimeler, ardışık kelime ve karakter grupları ne kadar çok ise o kadar daha fazla oranda sıkışabileceği gerçeğidir. Çünkü tüm sıkıştırma yöntemlerinin amacı verideki benzerlikleri bulup benzer yapıları daha kısa kodlar ile temsil etmektir. Farklı dillerde veya konularda bölümler/paragraflar içeren büyük boyutlu bir metin dosyası kelime benzerliklerine göre farklı kümelere ayrıldığında benzer dil veya konuya ait yapıların aynı kümede bulunması beklenir. Bundan dolayı farklı kümeleme yöntemleri ile bu büyük metin dosyası kümelere (dosyalara) ayrıldığında en iyi oranda sıkışabilen dosyaları oluşturan kümeleme yönteminin daha başarılı olabileceği beklenmektedir. Her ne kadar mevcut harici yöntemlere göre hız avantajı olmasa da SOİ'nin harici yöntem olarak da kullanılabilmesi için farklı bir formül daha önerilmiş ve yapılan testler sonucunda her iki ölçütün de diğer dahili ve harici kümeleme performans ölçütleri ile benzer sonuçlar verdiği görülmüştür. Kümelemenin genellikle sınıfları bilinmeyen veriler üzerinde yapılması ve performansının yavaş olan dahili yöntemler ile değerlendirilmesi nedeniyle, mevcut dahili yöntemlerden çok daha hızlı hesaplanabilen SOİ'nin önemli bir açığı kapatacağı düşünülmektedir.

Önerilen yöntemin geçerliliğini ölçmek için hem 6 farklı dilde yazılan makale özetleri ile hem de sadece İngilizce dilinde yazılan özetler ile kümeleme ve sıkıştırma testleri yapılmıştır. Kümeleme yöntemleri olarak literatürde sıkça kullanılan k-Means, k-Medoids ve CLARANS algoritmaları tercih edilmiştir. Sıkıştırma yöntemleri olarak ise Bzip2, Gzip, LZMA ve PPMd

algoritmaları kullanılmıştır. Yapılan testler sonucunda SOİ yöntemi kümeleme değerlendirme kriteri olarak hem dahili hem de harici yöntemlerde kullanılabilirliği gösterilmiştir.

## 2. İlgili Çalışmalar

Kümeleme yöntemleri uygulanırken, yöntemin oluşturduğu kümelerin kalitesini, geçerliliğini ölçmekte önemlidir. Bunun için birçok yöntem olmasında karşın özellikle karmaşık yapılardan oluşan verilerde kümeleme performansını ölçen yöntemler zaman zaman birbirleri ile çelişen sonuçlar verebilmektedirler (Hacıoğlu, 2016). Petrovic yaptığı kümeleme çalışmasında oluşan kümelerin performansını değerlendirmek için Silhouette ve Davies-Bouldin indeksini kullanmıştır. Değerlendirmeler sonucunda Silhouette indeksinin daha doğru sonuçlar ürettiği anlaşılmıştır (Petrovic, 2006). Ghufron kümeleme çalışmasında kümeleme yöntemi olarak k-Medoids ve oluşan kümelerin geçerliliğini ölçmek için ise Silhouette ve Davies-Bouldin indeksini kullanmış ve Davies-Bouldin ile yapılan değerlendirmelerin daha doğru sonuçlar verdiğini göstermiştir (Ghufron, Surarso ve Gernowo, 2020). Ni ve ark., kısa metinleri kümelemek için TermCut isimli yeni bir yöntem önermişlerdir. Geleneksel kümeleme yöntemlerinden farklı olan bu yöntem grafik modelleme kullanılarak oluşturulmuştur. Kümeleme performansını değerlendirmek için Micro F skoru ve F skoru kullanmışlardır. Farklı veri setleri üzerinde yaptıkları değerlendirmeler sonucunda önerdikleri yöntem ile geleneksel kümeleme yöntemlerinden daha iyi sonuçlar elde etmişlerdir (Ni ve ark., 2011). Rangrej ve ark., Twitter'dan elde ettikleri kısa metinler üzerinde farklı kümeleme tekniklerini kullanarak kümeleme performanslarını test etmişlerdir. K-means, Tekil Değer Ayrışımı (Singular Value Decomposition - SVD) temelli, yöntem ve grafik tabanlı (graph-based) yaklaşım arasında en az hata ile kümeleme yapan yöntemin grafik tabanlı yaklaşım olduğu deneyler sonucu gözlemlenmiştir (Rangrej, Kulkarni ve Tendulkar, 2011). Shrestha ve ark. Çalışmalarında farklı uzunluktaki 4 farklı veri kümesinden oluşan kısa metinleri kümeleyerek bir performans değerlendirmesi yapmışlardır. Yaptıkları çalışmada Hiyerarşik Kümeleme ve Spektral Kümeleme yöntemlerini kullanarak kısa metinleri kümeleyerek farklı gruplara ayırmışlardır. Kümeleme yöntemlerini değerlendirmek için F ölçütü ve Rand indeksini kullanarak, Spektral kümeleme yönteminin Hiyerarşik yöntemlere göre daha iyi sonuç verdiğini göstermişlerdir (Shrestha, Jacquin ve Daille, 2012). Starczewski ve Krzyżak kümeleme performansını değerlendirmek için kullanılan Silhouette indeksini Hiyerarşik kümeleme yöntemleri olan Tam Bağlantı ve Tek Bağlantı algoritmaları üzerinde deneyerek performans başarısını doğrulamışlardır (Starczewski ve Krzyżak, 2015). Erdinç ve ark., öğrencilerin ödevlerini değerlendirmek için web tabanlı bir ödev değerlendirme sistemi geliştirmişlerdir. Hiyerarşik kümeleme yöntemlerinden Tek Bağlantı, Ortalama Grup ve Tam Bağlantı yöntemlerini kullanarak, ödevlerin benzerlik oranını Dice, Jaccard ve Cosine benzerlik ölçütlerini kullanarak tespit etmişlerdir. Çalışmanın sonucunda Hiyerarşik kümeleme yöntemlerinde en iyi performansı Ortalama Grup algoritması ile elde etmişlerdir (Uzun, Erdoğan ve Saygılı, 2016). Geleneksel metin kümeleme yöntemleri, benzer metinleri bir araya getirme esasına dayanmaktadır. Büyük metinlerde geleneksel yöntemler başarılı olurken kısa metinlerde iki metin anlamsal olarak birbirine benzemesine rağmen ortak kelime bulunmadığı durumlarda iyi bir şekilde kümelenebilmektedir. Abdalgader çalışmasında, eşanlı genişleme semantik vektörlerin

kavramına dayanan kısa metin kümeleme için standart k-Means algoritmasının yeni bir çeşidini önermektedir. Kullanılan vektörler bir sözlük veritabanından türetilmiş bilgileri kullanarak kelimenin doğru anlamını tanımlarlar. Yapılan deneyler, önerilen yöntemin iyi performans gösterdiğini ispatlamaktadır (Abdalgader, 2017).

Selvi ve ark., kısa metinleri kümelemek için farklı küme sayıları kullanarak geleneksel yöntemlerden olan K-Means, Hiyerarşik, PAM, DIANA, AGNES ve CLARA kümeleme algoritmalarını kullanmışlardır. Oluşturulan kümelerin performans değerlendirmesini ise Connectivity, Dunn ve Silhouette indeksleri ile ölçerek, çalışmalarında kullandıkları veri kümesine göre K-Means ve Hiyerarşik kümeleme yöntemi bazı küme sayılarında paralel sonuç ürettiğini, ancak Hiyerarşik kümeleme yönteminin bazı küme sayılarında daha başarılı olduğu sonucuna varmışlardır (Selvi ve ark., 2018). Tengilimoğlu ve Öztürk çalışmalarında Bakü otellerine ait 3.275 İngilizce yorumu booking.com sitesinden indirerek bir kümeleme çalışması yapmışlardır. Yaptıkları çalışmada kümeleme yöntemi olarak K-Means algoritmasını kullanmışlardır. Terim Frekansı-Ters Doküman Frekansı (TF-IDF) yöntemini kullanarak kelimelerin ağırlıklarını hesaplayıp olumlu ve olumsuz yorumları farklı kümelerle gruplamışlardır (Tengilimoğlu ve Öztürk, 2019). Psalmerosi yüksek lisans çalışmasında öğrencilerin açık uçlu sınavlarını değerlendirmek için makine öğrenmesi yöntemlerini kullanmıştır. Çalışmanın bir kısmını sınıflandırma ile yaparken, diğer bir kısmında duyarlılık analizi değerlendirmesi için kümeleme yöntemi kullanmıştır. Uygun küme sayısını ve kümeleme performansını değerlendirmek için Davies-Bouldin indeksi ve Silhouette indeksini kullanmıştır (Psalmerosi, 2019).

Kümeleme performansını ölçmek için kullanılan dahili yöntemlerde sınıf etiketine ihtiyaç duyulmazken, harici yöntemlerde gerçek sınıf etiketleri kullanılarak hesaplama yapılır. SEE (Sum of Squared Errors-Hataların Kareleri Toplamı) ve Silhouette indeksi dahili yöntemlerde sıklıkla kullanılırken, harici yöntemlerde Saflik (Purity), Doğruluk (Accuracy), Kesinlik (Precision), Duyarlılık (Recall), Rand İndeksi, Düzeltilmiş Rand İndeksi (Adjusted Rand Index), Jaccard İndeksi ve F skoru kullanılan yöntemlerdir (Şenol ve Karacan, 2018).

Makalenin üçüncü bölümünde kullanılan yöntemlerden bahsedilmiş, dördüncü bölümde ise yapılan testlerin sonuçlarına yer verilmiştir. Beşinci ve son bölümde sonuçlar yer almaktadır.

## 3. Yöntemler

### 3.1. Kümeleme Analizi

Kümeleme analizi, bir veri kümesindeki verileri belirli yakınlık ölçütlerine göre farklı gruplara ayırma işlemine denir. Oluşan her bir gruba 'küme' denir. Bir başka deyişle kümeleme, benzer özelliklere sahip veri elemanlarının kendi aralarında farklı gruplara ayrılmasıdır. Küme içerisindeki elemanlar birbirine benzerken kümeler arasındaki benzerlik daha azdır (Silahtaroglu, 2016).

Kümeleme ya da kümeleme analizi veri madenciliği konusudur. Görüntü analizi, örüntü tanıma, makine öğrenmesi, veri sıkıştırma gibi birçok alanda kullanılmaktadır.

Gözetimli öğrenme yöntemi olan sınıflandırma işleminde

veriler önceden sınıflandırılmış örüntülerdir. Bu yaklaşımda temel amaç, yeni gelecek ve henüz hangi sınıfta olduğu bilinmeyen verilerin var olan sınıflardan en uygun olanına yerleştirilmesidir. Gözetimsiz öğrenme yöntemi olan kümelemede ise amaç, başlangıçta verilen ve henüz sınıflandırılmamış bir küme veriyi anlamlı alt kümeler oluşturacak şekilde bir araya getirmektir. Kümeleme işlemi tamamen gelen verinin özelliklerine göre yapılır (Silahtaroglu, 2016).

Kümeleme yöntemleri dört başlıkta toplanabilir: Bölümlemeli Kümeleme, Hiyerarşik Kümeleme, Yoğunluğa Dayalı Kümeleme ve Grid Temelli Kümeleme (Silahtaroglu, 2016). Bu çalışmada, bölümlemeli kümeleme yöntemleri olan k-Means, k-Medoids (PAM) ve CLARANS algoritmaları ve en uygun k küme sayısını belirlemek için Elbow yöntemi kullanılmıştır.

### 3.2. Veri Ön-İşleme

Veri madenciliği yöntemleri sadece sayısal veriler üzerinden uygulanabilmektedir. Bu çalışmada metinler üzerinde işlemler yapıldığından, bazı ön işlem adımlarının uygulanması gerekmektedir. Bu anlamda metinlere öncelikle küçük-büyük harf dönüşümü uygulanmıştır. Daha sonra veriler 1-gram olarak vektöre dönüştürülüp, öznelik çıkarma yöntemlerinden olan Terim Frekansı-Ters Doküman Frekansı (TF-IDF) yöntemi kullanılarak öznelikler çıkarılmıştır. Diğer ön işlem adımları olan etkisiz kelimelerin (stopwords) kaldırılması ve kelime köklerinin kullanılması (stemming) işlemleri, kümelene verinin sıkışma performansı incelendiğinden ve anlamsal olarak değil de kelime benzerliklerine göre bir gruplama işlemi amaçlandığından uygulanmamıştır.

### 3.3. Seçilen Bölümlemeli Kümeleme Algoritmaları

K-Means: Sürekli olarak kümelerin yinelendiği ve en uygun çözüme ulaşana kadar devam eden döngüsel bir algoritmadır. Eldeki verileri k adet kümede ve kümelerin ortalamalarına (merkezlerine) göre kümeler ayırır. K küme sayısı kullanıcı tarafından verilir (Silahtaroglu, 2016).

K-Medoids: K adet kümeyi bulmak için seçilen temsilcilerin etrafına ana kümedeki tüm elemanları toplar ve her defasında bu temsilcileri değiştirerek kümeleme işlemini yapar. Temsilci olarak seçtiği noktaya Medoids denir, bu yüzden k-Medoids algoritması olarak da adlandırılır. Medoids seçimi kümenin merkezine yakın mesafede bulunan noktanın belirlenmesidir. K adet küme için k adet temsilci seçildikten sonra, diğer veriler kendilerine en çok benzeyen temsilcinin etrafında toplanır. Küçük veritabanları için uygundur (Silahtaroglu, 2016).

CLARANS: Clara algoritmasının bir türevidir. Clara algoritmasının çalışma prensibi, bütün veri kümesini almaktansa küçük bir bölümünü temsilci olarak PAM algoritmasını uygulamaya dayanmaktadır. Buradaki temsilci sabittir. Clarans algoritmasında her defasında farklı bir temsilci belirlenerek daha iyi kümeleme yapılması amaçlanmıştır (Dinçer, 2006).

### 3.4. Kullanılan Uzaklık Ölçütü

Kümelemedeki temel amaç verilerin birbirine olan benzerliğine göre gruplara ayrılmasıdır. Bunu için iki kümenin birbirine olan uzaklığı-yakınlığı hesaplanmalıdır. Literatürde birçok uzaklık bulunsa da en yaygın olarak kullanılan Öklid

uzaklığıdır.

N boyuta sahip olan Öklid uzayında  $P=(p_1, p_2, \dots, p_n)$  ve  $Q=(q_1, q_2, \dots, q_n)$  noktaları arasındaki Öklid uzaklığı;

$$d = \sqrt{\sum_{i=1}^n (p_i - q_i)^2} \quad (1)$$

formülü ile hesaplanır (Kresse ve Danko, 2012).

### 3.5. Elbow (Dirsek) yöntemi ile k Küme Sayısının Belirlenmesi

K küme sayısının belirlenmesinde kullanılan bu yöntem, her bir noktanın oluşan küme merkezlerine olan uzaklığının karelerinin toplamı (WCSS: Within Clusters Sum of Square) ile hesaplanmaktadır. Bu yöntemde göre WCCS'deki değişim miktarının azaldığı nokta dirsek noktasıdır ve bu dirsek noktası en iyi k küme sayısını ifade eder (Ketchen ve Shook, 1996).

### 3.6. Kümeleme Performans Ölçümü

Yapılan bir kümelemenin performansını ölçmek için benzerlik indeksi adı verilen bazı ölçütler geliştirilmiştir (Bolshakova ve Azuaje, 2003). Ancak geliştirilen yöntemler veri kümesinin karmaşık olduğu durumlarda uygun olmayan sonuçlar üretebilmektedir (Hacıoğlu, 2016). Thinsungnoena ve ark. yaptıkları çalışmada farklı küme sayıları için Silhouette ve SEE yöntemlerini kümeleme performansını değerlendirmek için kullanmışlar, Silhouette yönteminin bazı küme sayıları için doğru sonuçlar ürettiğini bazı durumlar için de çelişkili sonuçlar ürettiğini gözlemlemişlerdir (Thinsungnoena ve ark., 2015).

Kümeleme performansını ölçen yöntemler dahili ve harici yöntemler olarak iki grupta incelenebilir (Şenol ve Karacan, 2018)

#### 3.6.1. Dahili Yöntemler

Kümeleme performansını değerlendirirken gerçek küme ya da sınıf etiketlerine gerek duyulmadan kullanılabilen yöntemlerdir.

**Silhouette İndeksi:** Kümelenen verilerin bulunduğu kümedeki uygunluğunu bulmak için geliştirilen Silhouette indeksi aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır:

$$s = \frac{(b-a)}{\max(a,b)} \quad (2)$$

$a$ : bir örnek ile aynı kümedeki diğer tüm noktalar arasındaki ortalama mesafe

$b$ : bir örnek ile en yakın kümedeki diğer tüm noktalar arasındaki ortalama mesafe

Elde edilen  $s$  değeri -1 ile 1 arasında bir sayıdır. 1'e yakın değerler kümelemenin iyi olduğunu ifade eder (Rousseeuw, 1987).

**Calinski-Harabasz İndeksi:**  $k$  adet kümeye bölünmüş bir verinin kümeleme geçerliliğini ölçmek için aşağıdaki eşitlik kullanılır:

$$ch = \frac{\text{tr}(B_k) \times (n_E - k)}{\text{tr}(W_k) \times (k - 1)} \quad (3)$$

$\text{tr}(B_k)$ : kümeler içi kareler toplamı

$\text{tr}(W_k)$ : kümeler arası kareler toplamı

En yüksek  $ch$  değeri en iyi kümeyi ifade eder (Caliński ve Harabasz, 1974).

**Davies-Bouldin İndeksi:** Küme içerisinde bulunan verilerin merkeze olan uzaklığını minimum, kümeler arası uzaklığı ise maksimum yapmayı hedefleyen bu yöntem ile kümeleme geçerliliğini ölçmek için aşağıdaki eşitlik kullanılır:

$$db = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k R_i \quad (4)$$

$i = 1, 2, \dots, k$  ve  $j = 1, 2, \dots, k$  olmak üzere  $i$ . ve diğer kümeler arasındaki maksimum karşılaştırma oranı her bir küme için  $R_j$  ile gösterilen küme indeksi aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır:

$$R_{ij} = \frac{S_i + S_j}{d_{ij}} \quad (5)$$

$d_{ij}$ : kümelerde bulunan merkezler arasındaki mesafe

$S_i$  &  $S_j$ : küme gözlemlerinin bulunduğu kümenin merkezlerine olan ortalama mesafe

Küçük  $db$  değerleri iyi kümelemeyi ifade eder (Davies ve Bouldin, 1979).

#### 3.6.2. Harici Yöntemler

Kümeleme performansını değerlendirirken gerçek küme ya da sınıf etiketlerinin bilindiği durumlarda kullanılabilen yöntemlerdir.

**Homojenlik, Tamlık ve V-İndeksi:** Örneklerin gerçek sınıf atamaları göz önüne alındığında, koşullu entropi analizi kullanılarak bazı sezgisel ölçütler tanımlanabilir. Rosenberg ve Hirschberg herhangi bir küme ataması için aşağıdaki istenen iki hedefi tanımlamaktadır (Rosenberg ve Hirschberg, 2007).

**Homojenlik:** Her küme yalnızca tek bir sınıfın üyelerini içerir.

**Tamlık:** Belirli bir sınıfın tüm üyeleri aynı kümeye atanır.

**V-İndeksi:** Tamlık ve homojenlik değerlerinin harmonik ortalaması ile hesaplanır.

**Düzeltilmiş Rand İndeksi:** ARI (Adjusted Rand Index) olarak bilinen bu yöntem, iki kümenin benzerliğini hesaplamak için sıklıkla kullanılan yöntemlerden biridir (Santos ve Embrechts, 2009). Rand indeksi bir kümedeki verinin değerini hesaplarken o veriyi aynı kümede olan diğer verilerle ikili olarak karşılaştırır (Rand, 1971). Rand indeksin gelişmiş bir versiyonu olan ARI, küme sayısının arttığı durumlarda Rand indeksinin de artması problemini gidermek için geliştirilmiştir. 0 ve 1 arasındaki üretilen değerlerden 1'e yakın değerler iyi kümelemeyi ifade eder (Hubert ve Arabie, 1985). Gerçek sınıflar C, Kümeleme sonucu oluşan sınıflar K ise Rand Index:

$$RI = \frac{a+b}{C_2^{n_{\text{örnekler}}}} \quad (6)$$

$a$ : C ve K'da aynı kümede bulunan örnek sayısı

$b$ : C'de ve K'da farklı kümede bulunan örnek sayısı

$E[RI]$ , beklenen RI örnek sayısı ise,

$$ARI = \frac{RI - E[RI]}{\text{Max}(RI) - E[RI]} \quad (7)$$

**Jaccard Skoru:** Jaccard indeksi veya Jaccard benzerlik katsayısı olarak da bilinen Jaccard skoru, kesişme boyutunun iki etiket kümesinin birleşiminin boyutuna bölünmesi olarak tanımlanır (Jaccard, 1901).

**Doğruluk, Kesinlik, Duyarlılık ve F1 Skoru:** Özellikle doküman sınıflandırmada kullanılan bu değerler kümeleme performansını değerlendirmesinde de sıkça kullanılmaktadır. Şu 4

temel değer üzerinden hesaplanırlar: Doğru Pozitif (DP), Doğru Negatif (DY), Yanlış Pozitif (YP) ve Yanlış Negatif (YN).

**Doğruluk:** Doğru olarak tahmin edilenlerin toplam veri kümesine bölünmesi ile hesaplanır:

$$\text{doğruluk} = \frac{DP+DN}{DP+DN+YP+YN} \quad (8)$$

**Kesinlik:** Doğru Pozitif olarak tahmin edilenlerin toplam pozitiflere oranı ile hesaplanır:

$$\text{kesinlik} = \frac{DP}{DP+YP} \quad (9)$$

**Duyarlılık:** Doğru Pozitif olarak tahmin edilenlerin Doğru Pozitif ile Yanlış Negatif toplamına bölünmesi ile hesaplanır:

$$\text{duyarlılık} = \frac{DP}{DP+YN} \quad (10)$$

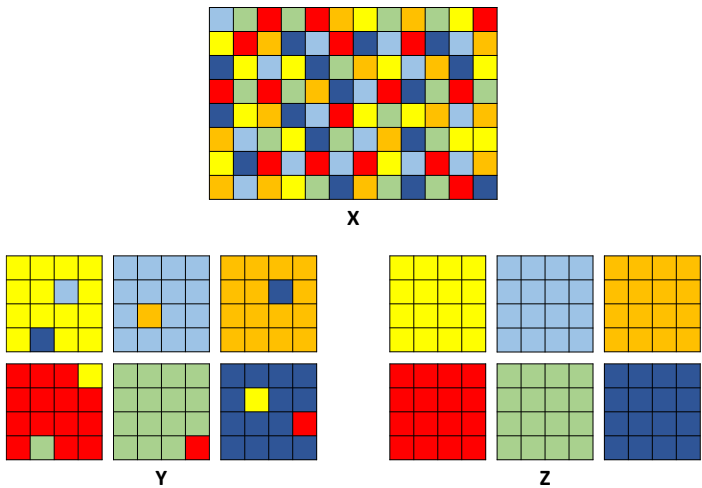
**F1 Skoru:** Duyarlılık ve Kesinlik değerlerinin harmonik ortalamasıdır:

$$F1 \text{ Skoru} = 2 * \frac{\text{Duyarlılık} * \text{Kesinlik}}{\text{Duyarlılık} + \text{Kesinlik}} \quad (11)$$

### 3.6.3. Önerilen Yöntem: Sıkıştırma Oranı İndeksi (SOİ)

Birbirine benzer yapılardan oluşan verilerin iyi sıkıştığı bilindiğinden, bir dosya içerisinde bulunan veriler benzerliklerine göre farklı gruplara ayrıldığında daha iyi sıkışma oranı elde edilebilecektir. Verileri benzerliklerine göre gruplama işlemi bir kümeleme problemidir. Bu anlamda iyi kümeleme sonucu ile iyi sıkıştırma oranı elde edilebileceği öngörülmektedir. Bu varsayımdan yola çıkarak, kümeleme performansını ölçmek için Sıkıştırma Oranı İndeksi adını verdiğimiz yeni bir yöntem önerilmiştir. Bu yöntem sınıf etiketlerine ihtiyaç duymadığı için dahili bir yöntem olsa da etiketlerin bilindiği durumlar için kullanılabilir harici bir ölçüt de önerilmiştir.

SOİ yönteminin hesabında kullanılan kümelennmiş, kümelennmiş ve etiketlerine göre ayrılmış verilerdeki dağılım, testlerde kullandığımız 6 farklı dilde yazılmış Wikipedia özetleri konu edilerek Şekil 1’de temsil edilmiştir.



Şekil 1. X: 6 dildeki özetlerin tek dosyada karışık halde olması, Y: Özetlerin kümelennmesi ve her kümenin farklı dosyada olması ve Z: Özetlerin etiketlerine (dillerine) göre farklı dosyalarda olması

Şekildeki her renk farklı bir dili temsil etmektedir. X durumunda tek dosyada karışık olarak yer alan özetlerin

kümelennmesi sonucunda Y durumundaki gibi aynı kümede (dosyada) çoğunlukla aynı dile ait özetler bulunacaktır. Aynı dildeki metinlerde benzerlik daha fazla olacağı için de Y’deki 6 farklı dosyanın sıkıştırılması sonucunda elde edilecek toplam boyutun, X’teki tek dosyanın sıkıştırılmasına göre daha küçük olması beklenebilir. Özetlerin etiketlerine (dillerine) göre farklı dosyalara ayrıldığı Z durumunun ise en iyi sıkışma oranına sahip olacağı söylenebilir.

Dahili yöntem olarak kullanıldığında SOİ formülü aşağıdaki gibidir:

$$SOİ_d = \frac{sb_x}{sb_y} \quad (12)$$

$sb_x$ : kümeleme yapılmadan önceki sıkışma boyutu (tek dosya)  
 $sb_y$ : kümeleme yapıldıktan sonra oluşan dosyaların sıkışma boyutu

Kümeleme yöntemi ne kadar başarılı ise SOİ<sub>d</sub> artacaktır. Sonuç genellikle 1’den büyük çıkar, 1’den küçük olması kötü kümeleme yapıldığını gösterir.

Harici yöntemlerde sınıf etiketleri bilindiğinden SOİ hesaplamasında da sınıflandırmada kullanılan performans ölçütleri gibi 0-1 aralığında değerler üretilebilir. Bu doğrultuda harici yöntemlerde kullanılabilir formül aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$SOİ_h = \frac{sb_z}{sb_y} \quad (13)$$

$sb_z$ : etiketlerine göre ayrılmış dosyaların sıkışma boyutu  
 $sb_y$ : kümeleme yapıldıktan sonra oluşan dosyaların sıkışma boyutu

$sb_z$  ulaşılabilecek en düşük boyut olarak kabul edilebilir. Kümeleme yöntemi ne kadar başarılı ise  $sb_y$  değeri  $sb_z$ ’ye o kadar yaklaşır (SOİ<sub>h</sub> 1’e yaklaşır). Tam etiketlere denk kümeleme yapılırsa iki değer eşit olur (SOİ<sub>h</sub> = 1). Bu durum Accuracy ile benzerdir.

### 3.7. SOİ için Seçilen Veri Sıkıştırma Yöntemleri

**BZip2:** Burrows-Wheeler sıkıştırma algoritması (BWCA) ile sıkıştırma yapan açık kaynak kodlu bir veri sıkıştırma programıdır. BWCA’nın temelinde blok-sıralama sıkıştırması olarak da bilinen Burrows-Wheeler dönüşümü (BWT) vardır (Burrows ve Wheeler, 1994). LZMA’ya göre sıkıştırma oranı biraz daha düşük, ama sıkıştırma hızı daha yüksektir. Açma hızında ise LZMA daha iyidir.

**Gzip:** Alt yapısında Deflate algoritması kullanan sıkıştırma programıdır. Deflate, LZ77 algoritmasının bir türevidir olan LZSS ile birlikte Huffman Kodlamasını kullanır (Deutsch, 1996). 90’lı yılların başında Phil Katz tarafından geliştirilmiş ve dönemin popüler sıkıştırma/arşivleme yazılımı PKZip’in 2.04 sürümünde kullanılmaya başlanmıştır. PKZip 2.50 ile birlikte sıkıştırma oranının daha fazla olması için 32 KB yerine 64 KB sözlük boyutu kullanan Deflate64 versiyonu da kullanılmaya başlanmıştır.

**LZMA:** Lempel-Ziv-Markov zincir algoritması (LZMA) sözlük tabanlı sıkıştırma yöntemlerinin en eskilerinden biri olan LZ77 algoritmasının bir versiyonudur (Leavline ve Singh, 2013). LZ77 çıktısı, aralık kodlayıcı (range encoder) ile kodlanır. 7-Zip arşivleme yazılımının temel algoritmasıdır. LZMA2 ise, dosyayı bağımsız olarak sıkıştırılabilen veya açılabilen parçalara bölerek paralel sıkıştırma ve açmaya olanak tanıyan farklı bir biçimdir.

**PPMd:** 1984 yılında yayınlanan PPM (Prediction by Partial Matching: Kısmi eşleme yoluyla, öngörü) yöntemi ile veri sıkıştırma o yıllar için en yüksek sıkıştırma oranlarına ulaşan bir yaklaşım ortaya atılmıştır (Cleary ve Witten, 1984). Bu yaklaşımda, kodlanacak karakterin ne olabileceği o karakterden önceki birkaç karakter (kontekst) kullanılarak tahmin edilir. Tahmin yapılırken, metnin o ana kadar sıkıştırılmış olan kısmından elde edilen karakterlerin birbirlerini takip etme olasılıklarının saklandığı bir çizelge kullanılır. Bu çizelgedeki olasılık dağılımları Huffman veya aritmetik kodlayıcı ile sıkıştırılır (Mesut, 2006). PPM'in günümüzde en çok kullanılan türevi Dmitry Shkarin tarafından geliştirilmiş olan ve daha çok PPMd olarak bilinen PPMII' dir (Shkarin, 2002).

### 3.8. Test Yöntemi

Testlerde kullanılan kümeleme algoritmaları için, Python – pyclustering paketindeki ilgili metotlar aşağıda verilen parametreler ile kullanılmıştır:

- `kmeans (data, initial_centers, tolerance = 0.001, ccore = True)`
- `kmedoids (data, initial_index_medoids, tolerance = 0.001, ccore = True)`
- `clarans (data, number_clusters, numlocal = 6, maxneighbor = 2)`

**initial\_centers:** Oluşturulacak küme sayısı kadar küme içerisinden merkez belirlenmiştir.

**initial\_index\_medoids:** Oluşturulacak küme sayısı kadar küme içerisinden medoids belirlenmiştir.

Testlerde kullanılan kümeleme performans ölçümleri için, Python – sklearn paketindeki ilgili metotlar aşağıda verilen parametreler ile kullanılmıştır:

- `metrics.Silhouette_score (X, labels, metric='euclidean')`
- `metrics.Calinski_harabasz_score (X, labels)`
- `Davies_Bouldin_score (X, labels)`
- `homogeneity_score(labels_true, labels_pred)`
- `completeness_score(labels_true, labels_pred)`
- `v_measure_score(labels_true, labels_pred)`
- `adjusted_rand_score(labels_true, labels_pred)`
- `metrics.jaccard_score(y_true, y_pred)`
- `accuracy_score(y_true, y_pred, average=None)`
- `recall_score(y_true, y_pred, average=None)`
- `precision_score(y_true, y_pred, average=None)`
- `f1_score(y_true, y_pred, average=None)`

SOİ değerlerinin hesaplanması için kullanılan sıkıştırma algoritmaları Python dilindeki ilgili yöntemler ile ve varsayılan sıkıştırma seçenekleri ile çalıştırılmıştır:

- `gzip.compress(Data)`
- `bz2.compress(Data)`
- `lzma.compress(Data)`

- `pyppmd.compress(Data)`

Testlerde iki farklı veri kümesi kullanılmıştır. Toplam boyutu 5861 KB olan ilk veri kümesinde (“İngilizce”) İngilizce diline ait 6000 Wikipedia makale özeti vardır. Bu metinlerin ortalama boyutu 1000 bayt, en küçük metin 21 bayt en büyük metin ise 10745 bayttan oluşmaktadır. Toplam boyutu 4165 KB olan ikinci veri kümesinde (“6 dil”) ise her birinde 1000 adet Wikipedia makale özeti olan altı farklı dildeki (Almanca, İngilizce, İtalyanca, Fransızca, İspanyolca ve Felemenkçe) toplam 6000 kısa metin bulunmaktadır. Bu metinlerin en küçüğü 33 bayt, en büyüğü 5612 bayt ve ortalama 710 bayttan oluşmaktadır. Makale özetleri dbpedia sitesinden elde edilmiştir (Dbpedia, 2020).

“İngilizce” ve “6 dil” veri kümesi için k-Means, k-Medoids, CLARANS kümeleme algoritmaları kısa metinler benzerliklerine göre bir araya getirilmiştir. Herhangi bir sınıf etiketinin olmadığı “İngilizce” veri kümesinde, oluşan kümelerin performansı 3.6.1 bölümünde belirtilen dahili yöntemler ile ve önerdiğimiz sıkıştırma oranı indeksi ile ölçülmüştür. Bununla birlikte hangi dilde oldukları (sınıfları) belli olan “6 dil” veri kümesi için her yöntem ile 6 küme (dil sayısı kadar) oluşturulup 3.6 bölümünde değinilen tüm ölçütler için 3.8 bölümünde verilen Python fonksiyonları ile test edilmiştir.

Testler Intel Core i7 9750H 2.60 GHz işlemci, 16 GB RAM ve Windows 10 Pro 64-bit işletim sistemi kullanan bir bilgisayar ile yapılmıştır.

## 4. Test Sonuçları ve Değerlendirme

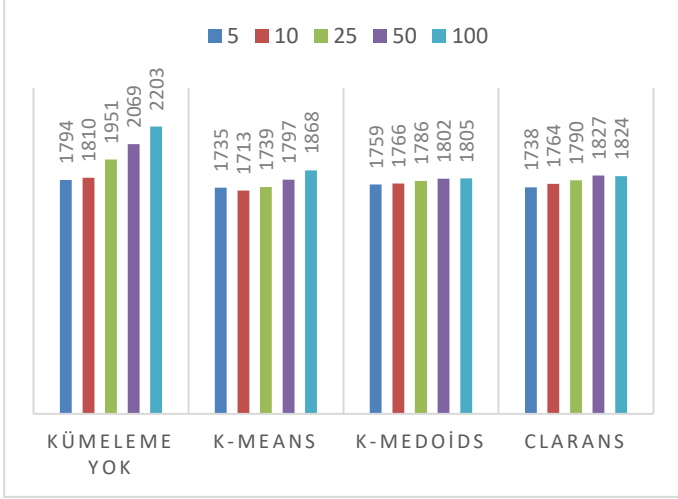
Veri sıkıştırma yöntemlerinin sıkıştırma oranı açısından başarısı, sıkıştırdıkları veride birbirini tekrar eden yapıların çok olmasına bağlıdır. Eğer sıkıştırılacak olan bir metin dosyası ise, bu dosya içinde aynı dilde ve hatta aynı konu hakkında yazılmış cümlelerin / paragrafların çok olması, benzer kelimelerin daha çok olmasını sağlayacağı için sıkıştırma oranına olumlu katkı yapacaktır. Metnin büyük boyutlu olması da benzer şekilde tekrar eden kelimelerin veya kelime gruplarının daha fazla olmasını sağlayacağı için sıkıştırma oranına olumlu katkı yapacaktır. Sonraki bölümde boyut ve benzerliğin sıkışma oranı üzerindeki etkisini gösteren testler yer almaktadır.

### 4.1. Sıkıştırılan Metnin Boyutunun ve Benzer Yapılar İçermesinin Sıkışma Oranına Etkisi

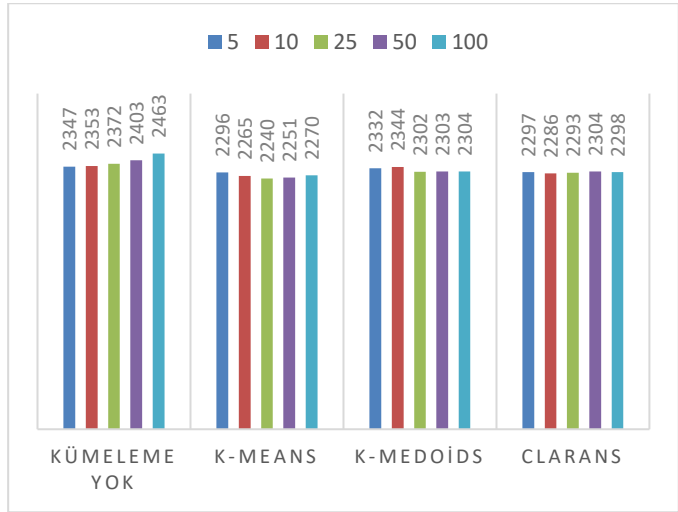
Verinin boyutu küçüldükçe sıkıştırma oranının ne ölçüde azaldığını göstermek için; 6000 İngilizce makale özeti içeren “İngilizce” veri kümesi, hem tek parça (dosya) olarak, hem de herhangi bir kümeleme yöntemi kullanılmadan dosyadaki sıra ile eşit sayıda özet içeren parçalara ayrılarak oluşan tüm dosyalar ilgili yöntemler ile sıkıştırılmıştır. Oluşan 5, 10, 25, 50 ve 100 parçanın her birinde sırasıyla 1200, 600, 240, 120 ve 60 özet vardır. Ayrıca “İngilizce” veri kümesi üzerinde k-Means, k-Medoids ve CLARANS yöntemleri ile 5, 10, 25, 50 ve 100 küme oluşturulmuştur. Oluşturulan bu kümeler sıkıştırılarak, kümeleme yapılmadan oluşturulan parçaların sıkıştırma oranları ile karşılaştırılmıştır. Şekil 2 BZip2, Şekil 3 Gzip, Şekil 4 LZMA ve Şekil 5 PPMd ile sıkıştırılan farklı sayılarda kümelerin ve kümeleme yapılmadan parçalara ayrılarak oluşan dosyaların (‘Kümeleme Yok’) boyutunu göstermektedir.

Şekillerden görüldüğü gibi en iyi sıkıştırma oranı PPMd ile, en kötü oran ise Gzip ile elde edilmiştir. ‘Kümeleme Yok’ durumunda parça sayısı arttıkça her bir parçanın ayrı bir dosya

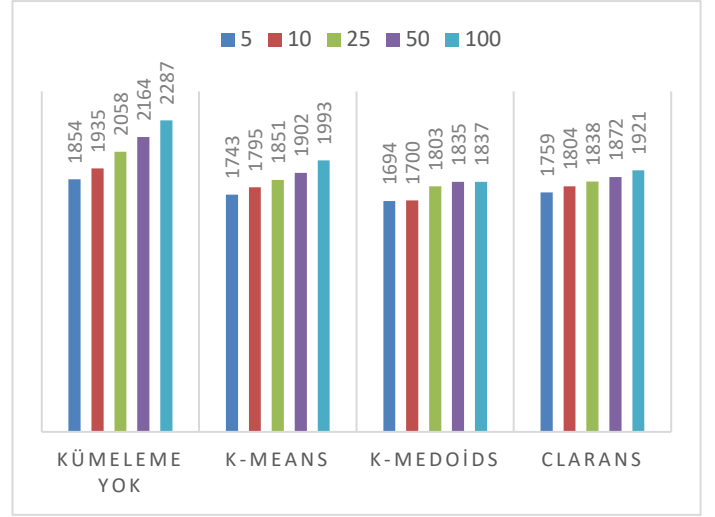
gibi sıkıştırılmasından dolayı toplam boyutun arttığı, ancak kümeleme yapıldıktan sonra her koşulda dosyaların normal parçalama yapmaya göre daha iyi sıkıştığı görülmektedir. Bu durum parçaların benzer özetleri içermesinin sıkışma oranını arttırdığını göstermektedir. Küme sayısı arttıkça her kümenin ayrı dosya olarak sıkıştırılmasından dolayı toplam boyutta genellikle yine artış olmakta, fakat bu artış normal parçalama durumundaki artışa göre daha az olmaktadır.



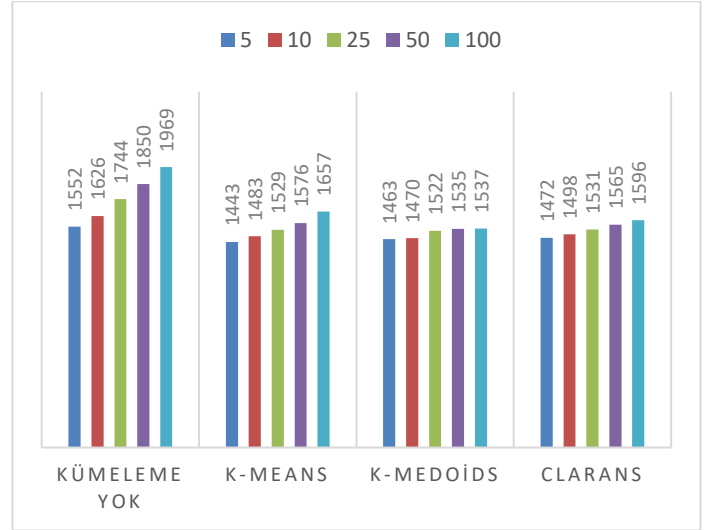
Şekil 2. BZip2 ile sıkıştırma sonucu dosya boyutlarındaki değişim (KB)



Şekil 3. Gzip ile sıkıştırma sonucu dosya boyutlarındaki değişim (KB)



Şekil 4. LZMA ile sıkıştırma sonucu dosya boyutlarındaki değişim (KB)



Şekil 5. PPMd ile sıkıştırma sonucu dosya boyutlarındaki değişim (KB)

Şekil 2’de k-Means 10, diğer iki yöntem 5 küme sayısında en iyi sıkıştırma oranını sağlamıştır. Değerlerin birbirine çok yakın olduğu Şekil 3’te ise CLARANS 10, diğer iki yöntem 25 küme sayısında en düşük dosya boyutuna ulaşmıştır. Şekil 3’ten görüleceği gibi, veri boyutunun büyük veya küçük olması, veride benzer yapıların çok veya az olması Gzip’in sıkıştırma oranında büyük bir etki yapmamaktadır. Şekil 4 ve Şekil 5’de tüm kümeleme algoritmaları 5 küme sayısında en iyi sıkıştırma oranını vermiştir.

Farklı küme sayıları ve farklı sıkıştırma algoritmaları ile en iyi sonuçları veren kümeleme algoritmaları Tablo 1’de, en kötü sonuçları verenler ise Tablo 2’de verilmiştir. Tablo 1’e göre BZip2 ile yapılan testlerde en iyi sıkıştırma oranlarını veren yöntem 5, 10, 25 ve 50 küme sayısında k-Means olurken 100 küme sayısında k-Medoids olmuştur. Gzip ile tüm küme sayılarında en iyi yöntem k-Means olurken, LZMA ile tüm küme sayılarında en iyi sonuçları k-Medoids vermiştir. PPMd ile 5 küme sayısında en iyi yöntem k-Means iken, diğer küme sayılarında k-Medoids en iyi sonuçları vermiştir. Hem k-Means hem de k-Medoids 10 defa en iyi sonuçları verirken, CLARANS ise hiçbir yöntemde en iyi olamamıştır.

Tablo 2'ye bakıldığında BZip2 ile sıkıştırma sonucu en kötü olan yöntemler, 5 ve 10 küme sayısında k-Medoids, 25 ve 50'de CLARANS ve 100'de k-Means olmuştur. Gzip ile en kötü sonuçları veren yöntem 50 küme sayısında CLARANS, diğerlerinde k-Medoids olmuştur. LZMA ile en kötü sonuçları veren yöntemler 5 ve 10 küme sayılarında CLARANS olurken,

diğerlerinde k-Means olmuştur. Son olarak PPMd ile en kötü sonuçları veren yöntemler 5, 10 ve 25 küme sayılarında CLARANS, diğerlerinde k-Means olmuştur. CLARANS 4 defa en kötü sonuçları verirken, k-Means ve k-Medoids 6'şar defa en kötü olmuştur.

Tablo 1. Küme sayısı & sıkıştırma algoritması ile en iyi sıkıştırma oranlarını veren kümeleme algoritmaları

	BZip2	Gzip	LZMA	PPMd
k=5	k-Means	k-Means	k-Medoids	k-Means
k=10	k-Means	k-Means	k-Medoids	k-Medoids
k=25	k-Means	k-Means	k-Medoids	k-Medoids
k=50	k-Means	k-Means	k-Medoids	k-Medoids
k=100	k-Medoids	k-Means	k-Medoids	k-Medoids

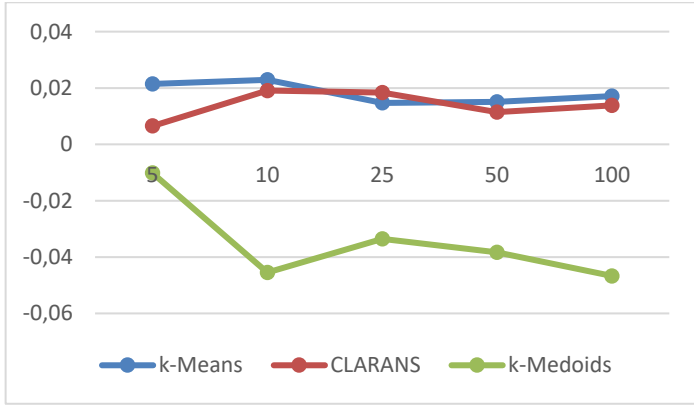
Tablo 2. Küme sayısı & sıkıştırma algoritması ile en kötü sıkıştırma oranlarını veren kümeleme algoritmaları

	BZip2	Gzip	LZMA	PPMd
k=5	k-Medoids	k-Medoids	CLARANS	CLARANS
k=10	k-Medoids	k-Medoids	CLARANS	CLARANS
k=25	CLARANS	k-Medoids	k-Means	CLARANS
k=50	CLARANS	CLARANS	k-Means	k-Means
k=100	k-Means	k-Medoids	k-Means	k-Means

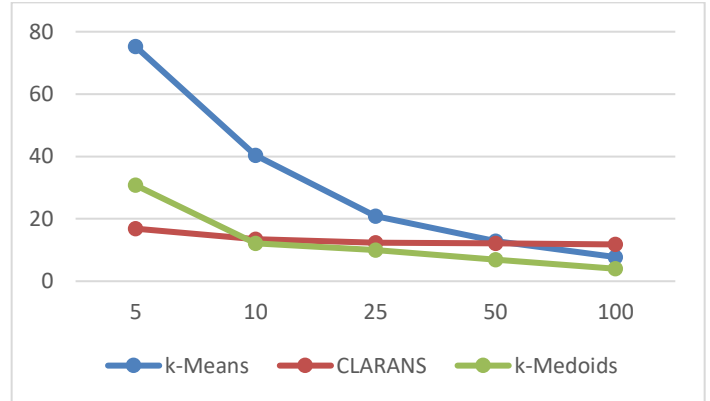
#### 4.2. "İngilizce" Veri Kümesinde Kümeleme Performansları

"İngilizce" veri kümesi üzerinde k-Means, CLARANS ve k-Medoids yöntemlerinin oluşturduğu kümelerin 3.6.1 bölümünde verilen üç farklı benzerlik indeksi ölçümünden elde edilen grafikler Şekil 6, Şekil 7 ve Şekil 8'de verilmiştir.

k-Medoids ile oluşurken, en kötü kümeler k-Means tarafından oluşmaktadır. k-Means ve CLARANS en iyi performansı 100 küme sayısında, k-Medoids ise 50 küme sayısında göstermektedir. Sonuçlardan görülebileceği gibi bu üç indeks birbirleri ile tutarlı sonuçlar vermemektedir. Silhouette ve Calinski-Harabasz indekslerinde k-Means en iyi k-Medoids en kötü iken, düşük olan değerlerin daha iyi kümeleme anlamına geldiği Davies-Bouldin indeksinde durum tam tersi olmuştur.

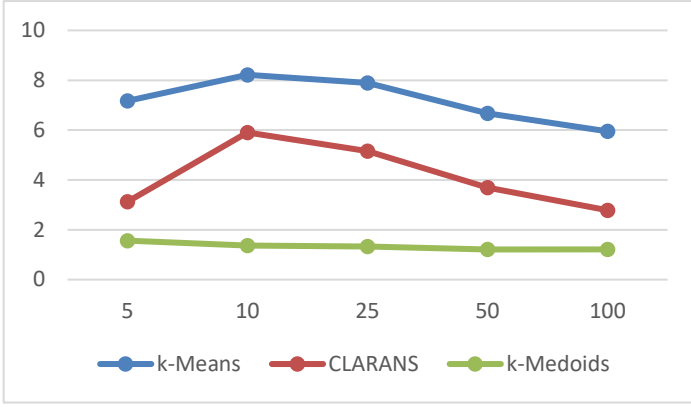


Şekil 6. Kümeleme yöntemlerinin farklı küme sayısında Silhouette indeksi ile performans değerlendirilmesi



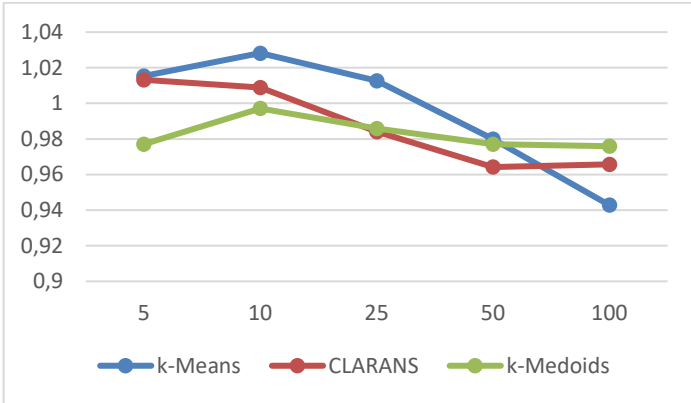
Şekil 7. Kümeleme yöntemlerinin farklı küme sayısında Calinski Harabasz indeksi ile performans değerlendirilmesi

Şekil 6'ya göre 5, 10, 50 ve 100 kümede en iyi performansı k-Means gösterirken 25 küme sayısında CLARANS daha başarılıdır. Tüm küme sayılarında k-Medoids en kötü sonuçları vermiştir. Kümeleme algoritmaları kendi içlerinde değerlendirildiğinde en iyi küme sayısı k-Means ve CLARANS için 10, k-Medoids için ise 5 küme olduğu görülmektedir. Şekil 7'ye göre 5, 10, 25 ve 50 küme sayısında en iyi kümeler k-Means ile 100 küme sayısında ise CLARANS ile oluşmaktadır. En kötü kümeleme performansı, küme sayısı 5 iken CLARANS, diğer durumlarda k-Medoids ile oluşmaktadır. Her üç yöntem de en iyi performansını küme sayısının 5 olduğu durumda göstermiştir. Şekil 8'e göre en iyi kümeler her küme sayısı için

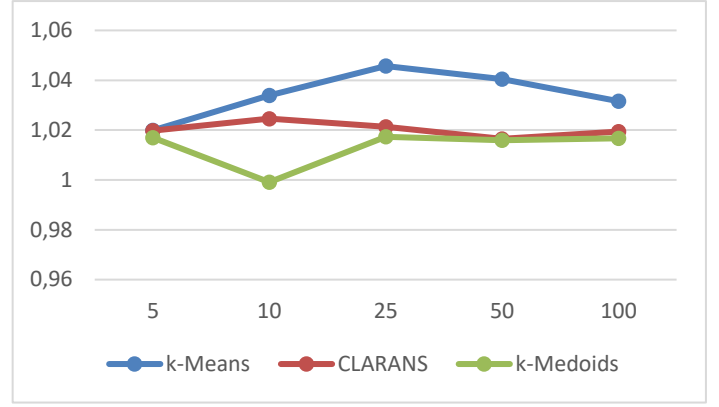


Şekil 8. Kümeleme yöntemlerinin farklı küme sayısında Davies-Bouldin indeksi ile performans değerlendirilmesi

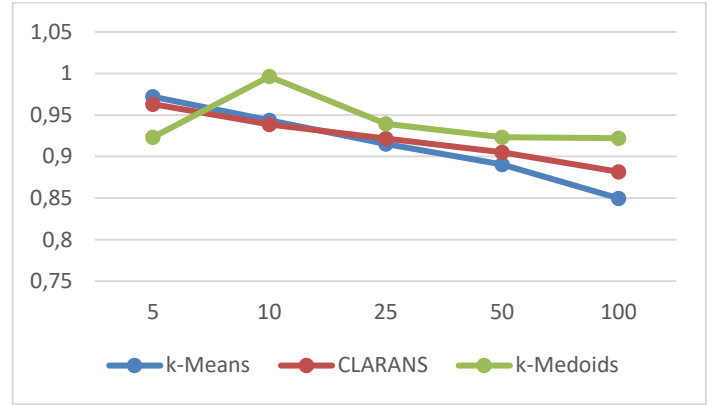
Şekil 9, Şekil 10, Şekil 11 ve Şekil 12’de önerilen SOİ ölçütünün BZip2, Gzip, LZMA ve PPMd sıkıştırma yöntemleri ile hesaplanması sonucu elde edilen grafikler verilmiştir. Bu şekillere göre 5 küme sayısında tüm değerler Silhouette indeksi ile uyumlu iken, 10 küme sayısında BZip2 ve Gzip, Silhouette ve Calinski-Harabasz indeksleri ile uyumludur. 25 küme sayısında Gzip Calinski-Harabasz indeksi ile, LZMA ve PPMd ise Davies-Bouldin indeksi ile uyumludur. 50 küme sayısında Gzip Silhouette ve Calinski-Harabasz indeksi ile, LZMA ve PPMd ise Davies-Bouldin indeksi ile uyumludur. Son olarak 100 küme sayısında BZip2, LZMA ve PPMd Davies-Bouldin indeksi ile Gzip ise Silhouette indeksi ile uyumludur. Tüm sonuçlara göre genel bir değerlendirme yapıldığında, Bzip2 ve Gzip yöntemleri ile hesaplanan SOİ değerlerinin k-Means’i daha başarılı bularak Silhouette ve Calinski-Harabasz indeksleri ile aynı görüşte olduğu, LZMA ve PPMd yöntemleri ile hesaplanan SOİ değerlerinin k-Medoids’i daha başarılı bularak Davies-Bouldin indeksi ile aynı görüşte olduğu söylenebilir.



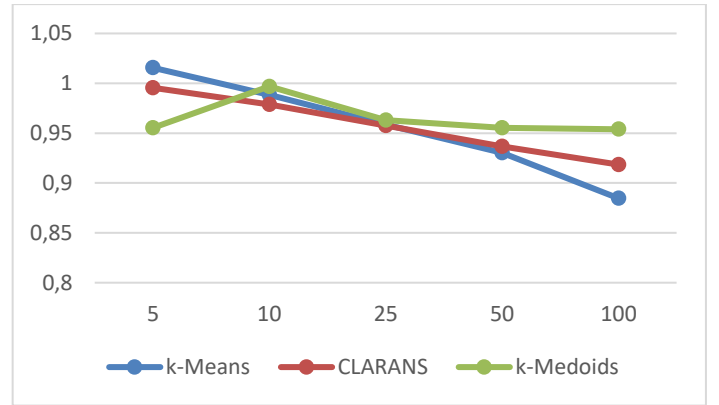
Şekil 9. Kümeleme yöntemlerinin farklı küme sayısında SOİ Bzip2 indeksi ile performans değerlendirilmesi



Şekil 10. Kümeleme yöntemlerinin farklı küme sayısında SOİ Gzip indeksi ile performans değerlendirilmesi



Şekil 11. Kümeleme yöntemlerinin farklı küme sayısında SOİ LZMA indeksi ile performans değerlendirilmesi



Şekil 12. Kümeleme yöntemlerinin farklı küme sayısında SOİ PPMd indeksi ile performans değerlendirilmesi

Tablo 3’te k-Means, CLARANS ve k-Medoids için kümeleme süreleri, oluşan kümelerin üç benzerlik indeksi ile ölçüm süreleri ve dört sıkıştırma yöntemi ile hesaplanan SOİ süreleri saniye cinsinden gösterilmektedir. Tabloda görüldüğü gibi k-Means diğer iki yönteme göre çok daha hızlı kümeleme yapmakta ve küme sayısı arttıkça bu yöntemler kadar yavaşlamamaktadır. Benzerlik indeksleri arasında ölçümü en yavaş yapan Silhouette, en hızlı yapan Davies-Bouldin yöntemidir. Küme sayısı ve kümeleme yönteminin, kümeleme performansını ölçme süresini önemli ölçüde etkilemediği görülmüştür. SOİ hesabı yapan sıkıştırma yöntemlerinin dahili yöntemlere göre hızlı olduğu görülmektedir. Dört farklı sıkıştırma yöntemi için kullanılan Python fonksiyonları Bölüm



3.8’de belirtildiği gibi sıkıştırma seviyesi için bir değer verilmeden varsayılan değerler ile kullanılmıştır. Aralarında en yavaş olan LZMA için sıkıştırma seviyesini belirleyen “preset” parametresi, varsayılan değer olan 6 yerine 3 verildiğinde iki kat

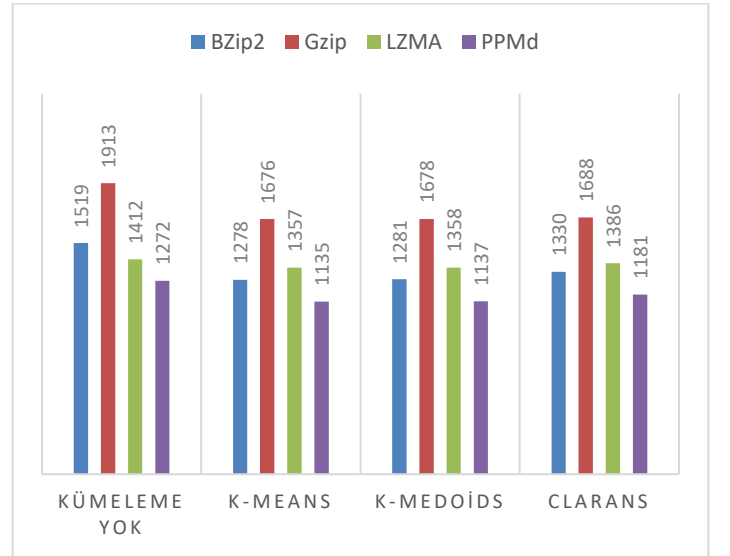
daha hızlı (ama daha düşük oranda) sıkıştırma yaptığı görülmüştür. Farklı sıkıştırma seviyelerini kullanmak SOİ oranlarını önemli ölçüde değiştirmedeği için sadece varsayılan değerler ile ölçümler yapılmıştır.

Tablo 3. “İngilizce” veri kümesinin kümeleme ve performans ölçümü süreleri (sn)

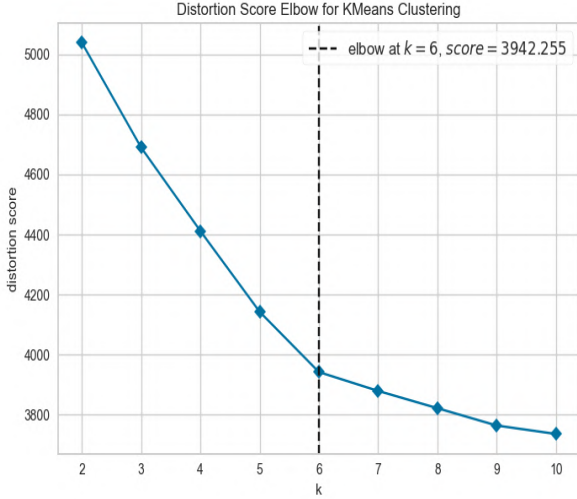
YÖNTEM	KÜME SAYISI	KÜMELEME SÜRELERİ	PERFORMANS ÖLÇÜM SÜRELERİ						
			<i>Silhouette</i>	<i>Calinski Harabasz</i>	<i>Davies Bouldin</i>	<i>SOİa Bzip2</i>	<i>SOİa Gzip</i>	<i>SOİa LZMA</i>	<i>SOİa PPMd</i>
k-Means	5	119,31	13,33	6,22	3,69	0,64	0,67	3,31	0,86
	10	114,49	12,90	6,37	3,57	0,66	0,70	2,89	0,77
	25	126,46	11,77	5,68	3,55	0,64	0,66	2,64	0,78
	50	142,30	10,90	5,43	3,51	0,67	0,61	2,62	0,81
	100	158,47	12,08	5,83	3,78	0,69	0,55	2,67	0,89
k-Medoids	5	1057,30	13,26	6,01	3,59	0,70	0,62	3,22	0,81
	10	2839,43	10,24	6,26	3,72	0,64	0,69	3,88	0,77
	25	4418,50	10,14	5,83	3,49	0,67	0,69	3,27	0,81
	50	6125,49	10,10	6,90	3,49	0,67	0,66	3,25	0,81
	100	7187,69	10,55	6,74	3,50	0,62	0,61	3,02	0,83
CLARANS	5	832,50	10,12	5,22	3,14	0,64	0,69	3,2	0,81
	10	1823,64	12,27	6,87	3,93	0,64	0,69	2,92	0,78
	25	2557,08	11,02	6,22	3,13	0,68	0,61	2,92	0,78
	50	4528,28	10,11	6,32	3,13	0,69	0,66	3,12	0,72
	100	8988,27	12,45	6,78	4,01	0,72	0,66	3,08	0,83

### 4.3. “6 dil” Veri Kümesinde Kümeleme Performansları

Şekil 13’te “6 dil” veri kümesine ait farklı dillerdeki özet makalelerin kümeleme olmadan ve kümeleme yapılar sıkıştırılması sonucu oluşan dosya boyutları gösterilmektedir. 6 farklı dile ait makale özetleri bulunduğu k küme sayısı 6 olarak belirlenmiştir. Böylece özetlerin dillerine göre sınıflandırılması beklenmektedir. Varsayımın doğruluğunu kontrol etmek için k küme sayısı belirlemede kullanılan diresek yöntemi ile de test edilmiştir. Dirsek yöntemi ile en uygun k sayısı 6 olarak belirlenmiş ve buna ait grafik Şekil 14’te verilmiştir.



Şekil 13. 6 kümeye ayrılan “6 dil” veri kümesinin sıkıştırma yöntemleri ile sıkıştırılmış boyutları (KB)



Şekil 14. Elbow yöntemi ile k küme sayısının belirlenmesi – Distortion

Şekil 13'teki 'Kümeleme Yok' sonuçları 6000 özetin dillere göre karışık sırada yer aldığı tek parça dosyanın sıkıştırma oranıdır. "6 dil" veri kümesinde farklı dilde metinler bulunduğu için kümeleme yapmanın sıkıştırma oranlarına daha fazla katkı yaptığı açık bir şekilde görülmektedir. 6 küme için en iyi sıkıştırma oranları sırası ile k-Means, k-Medoids, CLARANS ile yapılan kümelemelerin sonucunda oluşmaktadır.

Şekil 13'teki tüm sonuçlar göz önüne alındığında en küçük dosya boyutuna 1135 KB ile PPMd yöntemi k-Means üzerinde ulaşılırken, 4165 KB olan veri kümesi boyutu %27,25'ine kadar sıkıştırmayı başarmıştır. 1284 KB olan 'Kümeleme Yok' boyutuna göre ise %3,57 daha iyi sıkışmıştır. 'Kümeleme Yok' durumuna göre sıkıştırma oranını en fazla arttıran ise yine 'k-Means üzerinde 1964 KB boyutu 1278 KB'ye indirip %16,47

oranında sıkıştırma kârını arttıran BZip2 olmuştur. 'Kümeleme Yok' durumuna göre sıkıştırma oranlarını en az arttıran ise LZMA olmuştur. Elde ettiği en iyi sonuç yine 'k-Means üzerinde olmuş, 1412 KB'yi 1357 KB'ye indirerek %1,32 oranında sıkıştırma kârı elde edebilmiştir. Veri boyutu küçüldükçe sıkıştırma oranının azaldığını göstermiştir. 'Kümeleme Yok' tek dosya, kümelene sonuçlar ise 6 farklı dosya olarak sıkıştırılmalarına rağmen, tüm yöntemler ile sıkıştırma oranı açısından kâr elde edilebilmiştir. Her iki veri kümesi sonuçları incelendiğinde, tek bir dilde yazılmış metinler yerine farklı diller içeren metinleri kümeleyerek dillere göre sınıflandırmış olmanın, sıkıştırma oranına daha fazla katkı yaptığı görülmektedir.

Daha önce değindiğimiz gibi "6 dil" veri kümesinde 6 farklı dilde özetler olduğu için 6 kümeye bölündüğü durumun dillere göre sınıflandırma benzeri bir işlev göreceği öngörülebilir.

6 farklı dilde 1000'er adet özet karışık bir sıralama ile ekleyerek oluşturduğumuz 'Kümeleme Yok' dosyası haricinde her dile ait 1000 özet farklı dosyalar olarak da saklanmış, bu sayede oluşturulan 6 kümenin dosyaları ile karşılaştırılıp Doğru Pozitif (DP), Doğru Negatif (DN), Yanlış Pozitif (YP) ve Yanlış Negatif (YN) değerleri bulunmuştur. Bulunan bu değerlerle sınıflandırma başarısını ölçmede de ve kümeleme performansını ölçen harici yöntemlerde kullanılan doğruluk, kesinlik, duyarlılık, F1 skoru ve Jaccard Skoru ölçütlerinin hesaplamaları ve kümeleme benzerliği hesaplamasında sıkça kullanılan ve harici yöntemler olan Düzeltilmiş Rand İndeksi, Homojenlik, Tamlik ve V-İndeksi hesaplamaları yapılmıştır. Tablo 4'te "6 dil" veri kümesi üzerinde farklı kümeleme algoritmaları ile oluşturulan 6 kümeyle ait kümeleme performans değerleri, dahili yöntemler, harici yöntemler ve önerilen yöntemler ile verilmiştir. Önerilen SOI yönteminin (harici ve dahili) 4 farklı sıkıştırma yöntemi ile hesaplanması sonucu elde edilen değerlerin, küme performansını ölçen 12 yöntemden 10'u ile birebir, 2'si ile kısmen uyumlu olduğu Tablo 4'ten anlaşılmaktadır.

Tablo 4. "6 dil" veri kümesinin kümeleme benzerlik indeksi değerleri

		k-Means	k-Medoids	CLARANS
Dahili Yöntemler	Silhouette	0,0402	0,0401	0,0381
	Calinski-Harabasz	102,0105	103,1683	97,5443
	Davies-Bouldin	5,0681	5,0401	7,1665
Harici Yöntemler (Sınıflandırma)	Doğruluk	0,9973	0,9914	0,9898
	Kesinlik	0,9922	0,9751	0,9673
	Duyarlılık	0,9973	0,9914	0,9898
	F1 Skoru	0,9943	0,9825	0,9771
	Jaccard Skoru	0,9428	0,9424	0,9381
Harici Yöntemler (Kümeleme)	Düzeltilmiş Rand İndeksi	0,9314	0,9311	0,9257
	Tamlık	0,9311	0,9304	0,9239
	Homojenlik	0,9309	0,9301	0,9236
	V-İndeksi	0,9311	0,9302	0,9238
Önerilen Yöntem	SOI <sub>a</sub> BZip	1,1889	1,1858	1,1421
	SOI <sub>a</sub> Gzip	1,1416	1,1404	1,1331
	SOI <sub>a</sub> LZMA	1,0406	1,0397	1,0186
	SOI <sub>a</sub> PPMd	1,1204	1,1186	1,0771
	SOI <sub>b</sub> BZip	0,9988	0,9976	0,9917
	SOI <sub>b</sub> Gzip	0,9984	0,9961	0,9594
	SOI <sub>b</sub> LZMA	0,9993	0,9971	0,9769

	<b>SOİ<sub>h</sub> PPMd</b>	0,9991	0,9965	0,9594
--	-----------------------------	--------	--------	--------

Tablo 5'te "6 dil" kümesi için kümeleme süreleri, oluşan kümelerin dahili yöntemler ve sıkıştırma yöntemleri ile hesaplanan ortalama (harici ve dahili) SOİ süreleri saniye cinsinden gösterilmektedir. En hızlı kümeleme yapan yöntemlerin sırası ile k-Means, k-Medoids, CLARANS olduğu görülmektedir. Bu veri kümesi üzerinde benzerlik indekslerinin daha yavaş hesaplama yaptığı, SOİ süreleri ile aralarında daha fazla fark olduğu görülmektedir. Tablo 5'te harici yöntemlerin süreleri verilmemiştir. Bunun sebebi önerilen yöntem ve dahili

yöntemlerde küme performans ölçümleri verinin kendisi ile yapılırken, harici yöntemlerde sadece sınıf (küme) etiketleri ile yapıldığından adil bir karşılaştırma olmayacaktır.

Tablo 5. "6 dil" veri kümesinin kümeleme ve performans ölçümü süreleri (sn)

YÖNTEM	KÜMELEME SÜRELERİ	PERFORMANS ÖLÇÜM SÜRELERİ						
		<i>Silhouette</i>	<i>Calinski Harabasz</i>	<i>Davies Bouldin</i>	<i>SOİ Bzip2</i>	<i>SOİ Deflate</i>	<i>SOİ LZMA</i>	<i>SOİ PPMd</i>
<b>k-Means</b>	121,258	19,94	13,06	6,18	0,48	0,52	1,81	0,59
<b>k-Medoids</b>	820,283	17,93	10,10	6,14	0,50	0,52	1,59	0,59
<b>CLARANS</b>	976,375	19,16	12,33	6,18	0,47	0,53	1,84	0,61

## 5. Sonuçlar

Bu çalışmada kümeleme performansını ölçmek için yeni bir yöntem önerilmiştir. Ayrıca bölümlemeli kümeleme yöntemleri olan k-Means, k-Medoids ve CLARANS'ın performansları, kısa metinler üzerinde iki farklı veri kümesi ile karşılaştırmalı bir şekilde verilmiştir.

Yapılan testler sonucunda bir veri kümesinin kümeleme yapılmadan, eşit sayıda eleman içeren dosyalara bölünerek yapılan sıkıştırmada, dosya sayısı arttıkça sıkıştırma oranının azaldığı gözlemlenmiştir. Ancak aynı dile ait olsa bile kümeleme yapılarak yani benzer metinler bir araya getirilerek sıkıştırma yapıldığında, küme sayısı fazla değilse sıkıştırma oranında artış olabilmektedir.

Test sonuçlarını kümeleme algoritmalarının başarısına göre değerlendirdiğimizde, k-Means'ın en iyi olduğu, k-Medoids'in ona yakın sonuçlar verdiği, CLARANS'ın aralarında en kötü kümelemeyi yaptığı gözlenmiştir.

"İngilizce" veri kümesi ile yapılan testlere göre en hızlı kümeleme algoritması k-Means olurken, CLARANS ve k-Medoids farklı küme sayılarında birbirlerine üstünlük sağlayabilmektedirler. En hızlı kümeleme performansı ölçen yöntemler ise sırası ile Davies-Bouldin, Calinski-Harabasz ve Silhouette şeklindedir. Önerilen SOİ<sub>d</sub> ölçütünün ise bu üç yönteme göre çok daha hızlı hesaplanabildiği gösterilmiştir. SOİ<sub>d</sub> Bzip2 ve SOİ<sub>d</sub> Gzip sonuçlarının k-Means'i daha başarılı olarak Silhouette ve Calinski-Harabasz indeksleri ile, SOİ<sub>d</sub> LZMA ve SOİ<sub>d</sub> PPMd sonuçlarının ise k-Medoids'i daha başarılı olarak Davies-Bouldin indeksi ile aynı kararları verdiği görülmüştür.

"6 dil" veri kümesi üzerinde içerdiği dil sayısına uygun olacak şekilde, yani 6 kümeye bölerek yapılan testte en iyi kümeler k-Means, en kötü kümeler CLARANS ile oluşmuştur. "6 dil" veri kümesi seçilen 3 kümeleme yöntemi ile 6 kümeye ayrıldığında içerdiği özetler büyük oranda dillerine göre sınıflandırılmış ve daha önceden belli olan sınıf etiketleri yardımıyla doğruluk, kesinlik, duyarlılık, F1 skoru, Jaccard skoru, Düzeltilmiş Rand İndeksi, homojenlik, tamlık ve v- indeksi ölçütleri hesaplanabilmiştir. Harici yöntemler olarak nitelediğimiz bu 9 performans ölçütünün hepsi başarı sıralamasını "1) k-Means, 2) k-Medoids, 3) CLARANS"

şeklinde vermiştir. Test edilen dahili yöntemlerden sadece Silhouette aynı sıralamayı verirken, önerilen SOİ ölçütleri (SOİ<sub>d</sub> ve SOİ<sub>h</sub>) ise 4 farklı sıkıştırma algoritmasında da harici yöntemler ile aynı başarı sıralamasını vermiştir. SOİ ölçütünün "6 dil" veri kümesindeki kümeleme performansı ölçme süresi ile diğer 3 dahili yöntemin süreleri arasındaki fark, "İngilizce" veri kümesindeki farklardan daha da fazla olmuştur (Tablo 5'te görülebileceği gibi SOİ Bzip2 ile mevcut dahili yöntemler arasında 12 ile 40 kat arasında hız farklı vardır). SOİ<sub>d</sub> ölçütünün mevcut dahili yöntemlere göre çok daha hızlı hesaplanabilmesinden dolayı, kümeleme performans ölçümünde dahili bir yöntem olarak kullanılmasının avantajlı olacağı düşünülmektedir.

Bu çalışmanın motivasyon kaynağı, kısa metinlerin sıkıştırılmasına yönelik bir çalışmada kullanmak üzere, farklı diller ve farklı konularda statik sözlükleri oluşturabilmek adına benzer metinleri bir araya getirmeyi en uygun şekilde yapan kümeleme yöntemini bulmak olmuştur. Bahsi geçen sonraki çalışmada, sıkıştırılacak olan metnin içerdiği kelimeleri en fazla sayıda içeren kelime tabanlı statik sözlük seçilerek, bu sözlük ile sıkıştırılması sağlanacaktır.

## Kaynakça

- Abdalgader, K. (2017). Clustering Short Text using a Centroid-Based Lexical Clustering Algorithm. IAENG International Journal of Computer Science, 44(4).
- Alakuijala, J., Szabadka, Z. (2016). Brotli Compressed Data Format. Internet Engineering Task Force (IETF), RFC 7932, ISSN: 2070-1721
- Bolshakova, N., & Azuaje, F. (2003). Cluster validation techniques for genome expression data. Signal processing, 83(4), 825-833.
- Burrows, M., Wheeler, D. J. (1994). A block sorting lossless data compression algorithm. Technical Report 124, Digital Equipment Corporation.
- Caliński, T., & Harabasz, J. (1974). A dendrite method for cluster analysis. Communications in Statistics-theory and Methods, 3(1), 1-27.
- Cleary, J., & Witten, I. (1984). Data compression using adaptive

- coding and partial string matching. *IEEE transactions on Communications*, 32(4), 396-402.
- Davies, D. L., & Bouldin, D. W. (1979). A cluster separation measure. *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, (2), 224-227.
- Deutsch, P. (1996). DEFLATE Compressed Data Format Specification. version 1.3, RFC 1951 doi:10.17487/RFC1951.
- Dinçer, Ş. E. (2006). Veri madenciliğinde K-means algoritması ve tıp alanında uygulanması (Master's thesis, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Erdinç, U., Erdoğan, C., & Saygılı, A. (2016). Hiyerarşik Kümeleme Modeli Kullanan Web Tabanlı Bir Ödev Değerlendirme Sistemi. *Ejovoc (Electronic Journal of Vocational Colleges)*, 6(3), 87-98.
- Ghufron, G., Surarso, B., & Gernowo, R. (2020). The Implementations of K-medoids Clustering for Higher Education Accreditation by Evaluation of Davies Bouldin Index Clustering. *Jurnal Ilmiah KURSOR*, 10(3).
- Hacıoğlu H., K. (2016). Kümeleme Analizinde Kullanılan Bazı Benzerlik İndekslerinin Karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.,98.
- Brümmer, M. The DBpedia abstract corpus (2015), <http://downloads.dbpedia.org/2015-04/ext/nlp/abstracts/>
- Hubert, L., & Arabie, P. (1985). Comparing partitions. *Journal of classification*, 2(1), 193-218.
- Jaccard, P. (1901). Distribution de la flore alpine dans le bassin des Dranses et dans quelques régions voisines. *Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles*. 37: p. 241-272
- Ketchen, D. J., & Shook, C. L. (1996). The application of cluster analysis in strategic management research: an analysis and critique. *Strategic management journal*, 17(6), 441-458.
- Kresse, W. and Danko, D.M. (2012). *Springer Handbook of Geographic Information*. Springer-Verlag, Berlin.
- Leavline, E. J., & Singh, D. A. A. G. (2013). Hardware implementation of LZMA data compression algorithm. *International Journal of Applied Information Systems (IJ AIS)*, 5(4), 51-56.
- Mesut, A. (2006). Veri Sıkıştırma Yeni Yöntemler. *Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*.
- Ni, X., Quan, X., Lu, Z., Wenyan, L., & Hua, B. (2011). Short text clustering by finding core terms. *Knowledge and information systems*, 27(3), 345-365.
- Petrovic, S. (2006, October). A Comparison Between The Silhouette Index And The Davies-Bouldin Index In Labelling İds Clusters. In *Proceedings of the 11th Nordic Workshop of Secure IT Systems (Vol. 2006, pp. 53-64)*. sn.
- Psalmerosi, F. H. (2019). Applying Text Mining and Machine Learning to Build Methods for Automated Grading (Master's thesis, University of Twente).
- Rand, W. M. (1971). Objective criteria for the evaluation of clustering methods. *Journal of the American Statistical association*, 66(336), 846-850.
- Rangrej, A., Kulkarni, S., & Tendulkar, A. V. (2011, March). Comparative study of clustering techniques for short text documents. In *Proceedings of the 20th international conference companion on World wide web (pp. 111-112)*. ACM.
- Rendón, E., Abundez, I., Arizmendi, A., & Quiroz, E. M. (2011). Internal versus external cluster validation indexes. *International Journal of computers and communications*, 5(1), 27-34.
- Rosenberg, A., & Hirschberg, J. (2007, June). V-measure: A conditional entropy-based external cluster evaluation measure. In *Proceedings of the 2007 joint conference on empirical methods in natural language processing and computational natural language learning (EMNLP-CoNLL) (pp. 410-420)*.
- Rousseeuw, P. J. (1987). Silhouettes: a graphical aid to the interpretation and validation of cluster analysis. *Journal of computational and applied mathematics*, 20, 53-65.
- Santos, J. M., & Embrechts, M. (2009, September). On the use of the adjusted rand index as a metric for evaluating supervised classification. In *International conference on artificial neural networks (pp. 175-184)*. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Selvi, C. K., Kogilavani, S. V., & Jayaprakash, S. M. D. (2018). Short Text Segmentation for Improved Query Processing. *IJRASET*. ISSN: 2321-9653; IC Value: 45.98;2719-2724.
- Shkarin, D. (2002, April). PPM: One step to practicality. In *Proceedings DCC 2002. Data Compression Conference (pp. 202-211)*. IEEE.
- Shrestha, P., Jacquin, C., & Daille, B. (2012, March). Clustering short text and its evaluation. In *International Conference on Intelligent Text Processing and Computational Linguistics (pp. 169-180)*. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Silahtaroglu, G. (2016). Veri madenciliği: Kavram ve algoritmaları. Papatya.
- Starzewski, A., & Krzyżak, A. (2015, June). Performance evaluation of the Silhouette index. In *International Conference on Artificial Intelligence and Soft Computing (pp. 49-58)*. Springer, Cham.
- Şenol, A., & Karacan, H. (2018). Akan Veri Kümeleme Teknikleri Üzerine Bir Derleme. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (13), 17-30.
- Tengilimoğlu E., Öztürk, Y., (2019). Metin madenciliği yöntemleri ile online yorumların kümelmesi: Bakü otelleri örneği. 5. *International Congress of Social Science, Skopje/Macedonia*, 595-608.
- Thinsungnoena, T., Kaoungkub, N., Durongdumronchaib, P., Kerdprasob, K., & Kerdprasob, N. (2015). The clustering validity with Silhouette and sum of squared errors. *learning*, 3(7).



# A CNN-based hybrid model to detect Coronavirus disease

Ebru Erdem<sup>1\*</sup>, Tolga Aydın<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Ataturk University, Faculty of Engineering, Department of Computer Engineering, Erzurum, Turkey, (ORCID: 0000-0002-4042-7549), [ebruerdem@atauni.edu.tr](mailto:ebruerdem@atauni.edu.tr)

<sup>2</sup> Ataturk University, Faculty of Engineering, Department of Computer Engineering, Erzurum, Turkey, (ORCID: 0000-0002-8971-3255), [atolga@atauni.edu.tr](mailto:atolga@atauni.edu.tr)

(First received 12 May 2021 and in final form 15 August 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.936820)

**ATIF/REFERENCE:** Erdem, E. & Aydın, T. (2021). A CNN-based hybrid model to detect Coronavirus disease. *European Journal of Science and Technology*, (27), 66-73.

## Abstract

In this paper, a hybrid classification technique for COVID-19 disease is proposed. The proposed model solves the two-class classification problem (covid, normal). In this study, we have presented hybrid models integrating superior deep learning and machine learning classifiers: Convolutional Neural Network (CNN) and Support Vector Machine (SVM), CNN and AdaBoost, CNN and K Nearest Neighbour (kNN), CNN and Multilayer Perceptron (MLP), CNN and Naive Bayes (NB). In these models, CNN performs as a trainable deep feature extractor, and SVM, AdaBoost, kNN, MLP, NB behave as recognizers. All experiments have been performed on COVID-CT and SARS-CoV-2 CT combined image datasets. As a result, proposed hybrid methods have been compared in terms of sensitivity, accuracy, precision, F1-score, AUC-score, specificity, FPR, FDR, and FNR. CNN+SVM, CNN+MLP, and CNN+kNN have achieved outperforming results according to the other models. Also, CNN+SVM performed the best. When the results are examined, the proposed hybrid system is seen to be efficient to detect COVID-19. Also, the performance of the proposed hybrid system is better than the successful studies found on COVID-CT and SARS-CoV-2 CT combined image datasets in the literature.

**Keywords:** Covid-19, hybrid models, deep learning, CNN.

## Koronavirüs hastalığını tespit etmek için CNN tabanlı bir hibrit model

### Öz

Bu yazıda, COVID-19 hastalığı için hibrit bir sınıflandırma tekniği önerilmektedir. Önerilen model, iki sınıflı sınıflandırma problemini çözmektedir (covid, normal). Bu çalışmada, üstün derin öğrenme ve makine öğrenimi sınıflandırıcılarını entegre eden hibrit modeller sunduk: Evrimsel Sinir Ağ (CNN) ve Karar Destek Makinesi (SVM), CNN ve AdaBoost, CNN ve K En Yakın Komşu (kNN), CNN ve Çok Katmanlı Algılayıcı (MLP), CNN ve Naive Bayes (NB). Bu modellerde CNN, eğitilebilir bir derin özellik çıkarıcı olarak çalışır ve SVM, AdaBoost, kNN, MLP, NB bir tanıyıcı olarak davranır. Tüm deneyler, COVID-CT ve SARS-CoV-2 CT birleşik görüntü veri kümeleri üzerinde gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, önerilen hibrit yöntemler duyarlılık, doğruluk, kesinlik, F1 puanı, AUC puanı, özgülük, FPR, FDR ve FNR açısından karşılaştırılmıştır. CNN + SVM, CNN + MLP ve CNN + kNN, diğer modellere göre sırasıyla daha iyi performans gösteren sonuçlar elde etmiştir. Ayrıca, CNN + SVM en iyi performansı göstermiştir. Sonuçlar incelendiğinde, önerilen hibrit sistemin COVID-19'u tespit etmede etkili olduğu görülmektedir. Ayrıca, önerilen hibrit sistemin performansı, literatürdeki COVID-CT ve SARS-CoV-2 CT birleşik görüntü veri kümelerinde bulunan başarılı çalışmalardan daha iyidir.

**Anahtar Kelimeler:** Covid-19, hibrit modeller, derin öğrenme, CNN.

\* Corresponding Author: [ebruerdem@atauni.edu.tr](mailto:ebruerdem@atauni.edu.tr)

## 1. Introduction

At the last days of 2019, Coronavirus disease of 2019 (COVID-19) has emerged in China and quickly disseminated to the globe. The number of infected cases is increasing rapidly in many countries. Early diagnosis of disease is very important in terms of quarantine of infected cases (KARAKUŞ, 2020).

The clinical symptoms (cough, shortness of breath, etc.) of the disease are not specific, so the detection progress is challenging. The reverse-transcription polymerase chain reaction (RT-PCR) test is a generally employed standard technique to detect the disease. However, it has many shortcomings including resulting in false-negatives and being time-consuming.

Computed tomography (CT) is a well-known imaging technique for a successful and early recognition of the disease. Thus, radiological imaging is important as a diagnostic tool. The computer-aided design (CAD) systems that use CT images are recommended for the control and the interpretation of the disease case. These systems are critical for helping radiologists in accurately diagnosing the disease based on medical image data.

Numerous articles have been published in the literature recently. Especially, the classification of the CT images was conducted via artificial intelligence techniques and successful results have been obtained, as the following paragraph discusses.

In their study, Wu et al. applied ResNet50 on 368 COVID-19 CT images from Beijing Youan Hospital and China Medical University. They achieved accuracy, sensitivity, specificity, and AUC rates of 76%, 81.1%, 61.5%, and 81.9%, respectively (Wu et al., 2019). Jin et al. applied ResNet152 on 1881 COVID-19 CT images from Wuhan Union Hospital, Jiangnan Mobile Cabin Hospital, and Western Campus of Wuhan Union Hospital. They achieved accuracy, sensitivity, specificity, precision, F1-score, and AUC rates of 94.98%, 94.06%, 95.47%, 91.53%, 92.78%, and 97.91%, respectively (Jin et al., 2020). Javaheri et al. applied BCDU-Net on 32230 covid data from five medical centers. They achieved accuracy, sensitivity, specificity, and AUC rates of 91.66%, 87.5%, 94%, and 95%, respectively (Javaheri et al., 2020). Jin et al. applied different DL based algorithms (DPN-92, Inception-v3, ResNet-50, Attention ResNet50 with 3D U-Net++) on 1391 COVID-19 CT images from five different hospitals of China. They achieved AUC, sensitivity, and specificity rates of 99.1%, 97.04%, and 92.2%, respectively (Jin et al., 2020). Chen et al. applied Unet++ on 35355 CT images from the Renmin Hospital of Wuhan University. They achieved accuracy, sensitivity, specificity, precision, and AUC rates of 98.85%, 94.34%, 99.16%, 88.37%, and 99.4%, respectively (Chen et al., 2020). Ardakani et al. applied DL based algorithms (AlexNet, VGG-16, VGG-19, SqueezeNet, GoogleNet, MobileNet-V2, ResNet-18, ResNet-50, ResNet-101, Xception) on 510 CT images from real-time data. They achieved accuracy, sensitivity, specificity, precision, and AUC rates of 99.51%, 100%, 99.02%, 99.27%, and 99.4%, respectively (Ardakani et al., 2020). He and his colleagues proposed CRNet in their work. With this model, they have reached an 86% accuracy rate, 85% F1-score, and 94% AUC (He et al., 2020). Wang et al. proposed the Modified-Inception model for classification. They have reached 79.3% accuracy

rate, 83% sensitivity, 67% specificity, 55% precision, 63% F1-score, and 81% AUC (Wang et al., 2020). Ying et al. suggested DRE-Net on 777 COVID positive CT data from the Third Affiliated Hospital and Hospital of Wuhan University. With this model, they have reached 94.3% accuracy rate, 93% sensitivity rate, 96% precision rate, 94% F1-score, and 99% AUC (Song et al., 2020). Zheng et al. applied DeCoVNet on 630 CT images from three different hospitals (Huazhong University of Science and Technology, Union Hospital, and Tongji Medical College). They achieved accuracy, sensitivity, specificity, precision, and AUC rates of 90.1%, 90.7%, 91.1%, 84%, and 95.9%, respectively (Zheng et al., 2020). Singh et al. proposed MODE-CNN in their work. With this model, they have reached a 93.25% accuracy rate, 90.70% sensitivity rate, 90.72% specificity rate, and 89.96% F1-score (Singh et al., 2020). Farid et al. applied a CNN model on 51 COVID-19 CT images from the Kaggle benchmark dataset. They achieved accuracy, precision, F1-score and AUC rates of 94.11%, 99.4%, 94%, and 99.4%, respectively (Farid et al., 2020). The writers in Wang et al. suggested employing the Inception and Adaboosted decision tree framework. They recognized COVID-19 cases achieving an accuracy of 82.9%, an AUC of 90%, a sensitivity of 81%, and a specificity of 84% (Wang et al., 2020). The writers in Song et al. presented a ResNet-50 architecture. The accuracy, AUC, sensitivity, and precision values proved to be 86%, 95%, 96%, and 79%, respectively (Song et al., 2020). The researchers in Jin et al. used the Deeplab-v1 and ResNet-152 deep learning framework to make a distinction between COVID-19 and non-COVID-19 cases. An accuracy of 94.8%, an AUC of 97.9%, a sensitivity of 94.1%, and a specificity of 95.5% were obtained (Jin et al., 2020).

Other studies proposed DL-based architectures for novel coronavirus pneumonia (NCP) diagnosis. However, as it is observed, the effectiveness of CNN-based deep hybrid approaches can more be required in the literature. Therefore, in this paper, CNN architecture was used as a basic network for a hybrid model approach.

## 2. Material and Method

### 2.1. Material

Two public datasets are used to predict and evaluate our framework, including COVID-CT (Yang et al., 2020; 2020) and SARS-CoV-2 CT-scan image datasets (Soares et al., 2020; 2020) (Fig. 1).

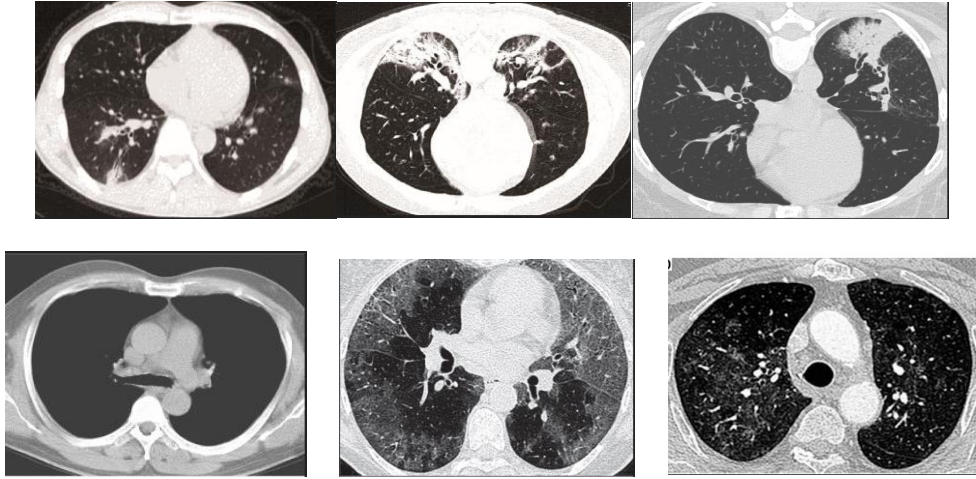


Figure 1 Examples of CT Images (COVID-19 (Top) and Non-COVID-19 (Bottom))

SARS-CoV-2 CT-scan dataset is composed of CT scan images that were collected from hospitals in Brazil. This dataset consists of 2482 CT scans from 120 cases, with 1252 CT scans of 60 cases infected and 1230 CT scans of 60 cases non-infected by SARS-CoV-2. COVID-CT dataset is composed of CT images of patients infected with SARS-CoV-2, These were obtained from the research articles. This dataset consists of 349 CT scans from 216 patients. Metadata is associated with properties like patient gender, age, scan time, the severity of the disease, etc. Regarding to non-covid patients, this dataset consists of 463 CT scans from 55 patients. These images were collected from websites, articles, and other resources.

In this paper, SARS-CoV-2 CT-scan and COVID-CT images are combined. The combined dataset consists of 3227 CT images, with 1601 covid and 1626 non-covid cases.

## 2.2. The proposed framework

In this study, five different DL-based hybrid models are applied to predict and evaluate the classification results. These models are used on the combined image dataset.

The proposed hybrid system uses the deep features derived from CNN separately and utilizes these features to train SVM, AdaBoost, kNN, MLP, and NB classifiers. Then, the classification performance of the classifiers is evaluated (Fig. 2).

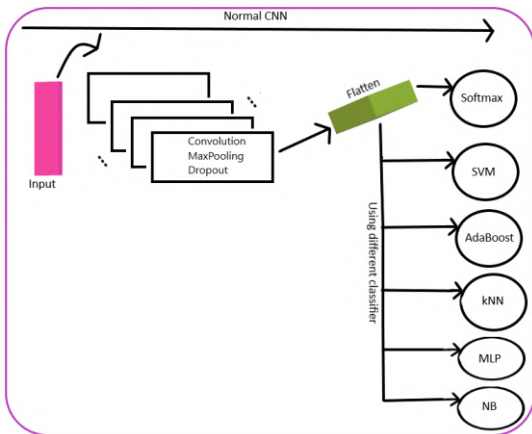


Figure 2 The Architecture of The DL Based-CAD System

A convolutional neural network is one of the deep learning architectures. This architecture is usually composed of the

following types of layers: convolutional, activation, dropout, pooling, and softmax (Fig. 3). Convolutional neural networks vary in how convolutional and other sublayers are trained and implemented.

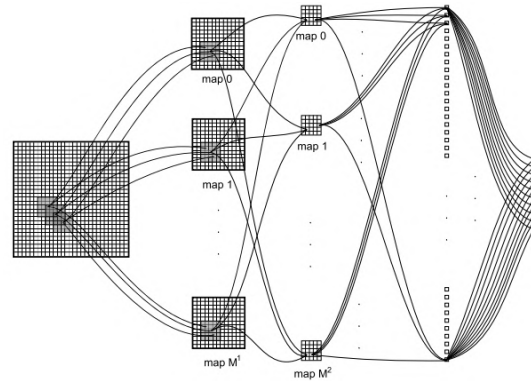


Figure 3 General Architecture of A CNN [Ciresan et al., 2011]

The convolutional layer provides producing feature maps. This layer has trainable bias and trainable filters per feature map. Each output map is connected to all of its preceding feature maps. The convolution process is presented in Eq. (1) (Yildirim & Cinar, 2020). In Eq. (1);  $x$ ,  $w$ ,  $t$ , and  $s$  represents the input, filter, times, and result, respectively.

$$s(t) = (x * w)(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} (x(n) + w(t - n)) \quad (1)$$

Activation functions are important to help the model to learn better. The activation function is usually used for nonlinear transformation. Relu was preferred for this study (Eq. (2)) (Yildirim & Cinar, 2020). The obtained output feature maps with the convolutional layer are passed to this layer.

$$f(x) = \begin{cases} 0, & x < 0 \\ x, & x \geq 0 \end{cases}, f(x)' = \begin{cases} 0, & x < 0 \\ 1, & x \geq 0 \end{cases} \quad (2)$$

Then, while moving to the next layer, a maximum pooling process is applied to reduce the spatial size of the input (Eq. (3)) (Yildirim & Cinar, 2020)). In Eq. (3);  $w$ ,  $h$ , and  $d$  represents width, height, and depth of input image size, respectively. Also, the dropout method was used to improve the performance of the

model. This technique prevents overfitting. The softmax layer is used to predict the classification label for the final result.

$$S = w * h * d \quad (3)$$

CNN architecture has been used as the basic structure in the hybrid models. The improved hybrid model structure was presented in Fig. 2. At the last layer of the CNN, instead of the softmax function, SVM, AdaBoost, kNN, MLP, and NB were implemented, respectively.

For consistency, all the images are resized to 256 x 256 x 3. That is, the image input sizes are updated as 256\*256 with three

channels. CNN model was used for the feature extraction. Details of CNN architecture are presented in Table 1.

Features were obtained from the Flatten layer of the CNN architecture. The box plot illustration of the features obtained from the CNN model is given in Fig. 4. The feature values from the CNN model were in a wide range. Also, the box plot illustration of the value of each feature is given in Fig. 5.

Table 1 Details of Layers Used in CNN

Layer	Stride	Filter size	Pool size	Padding	Activation	Data depth	No. of parameters
Input Layer	-	-	-	-	-	3	0
Conv1	1	5x5	-	Same	Relu	16	1216
MaxPooling	2	-	2x2	-	-	16	0
Dropout	-	-	-	-	-	16	0
Conv1	1	5x5	-	Same	Relu	32	12832
MaxPooling	2	-	2x2	-	-	32	0
Dropout	-	-	-	-	-	32	0
Conv1	1	5x5	-	Same	Relu	64	51264
MaxPooling	2	-	2x2	-	-	64	0
Dropout	-	-	-	-	-	64	0
Conv1	1	5x5	-	Same	Relu	64	102464
MaxPooling	2	-	2x2	-	-	64	0
Dropout	-	-	-	-	-	64	0
Flatten	-	-	-	-	-	64	0

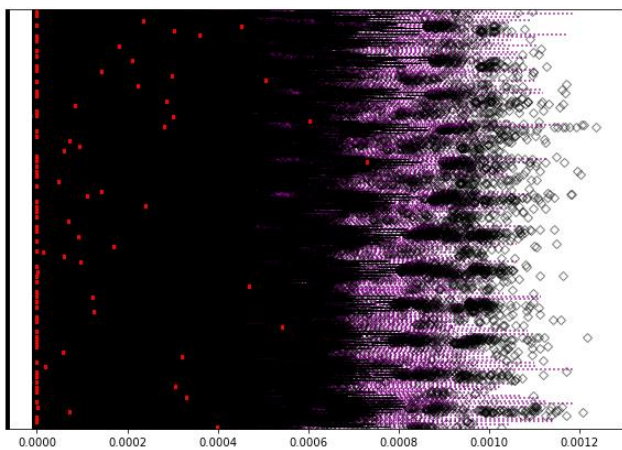


Figure 4 The Illustration of the Feature Values from CNN Model

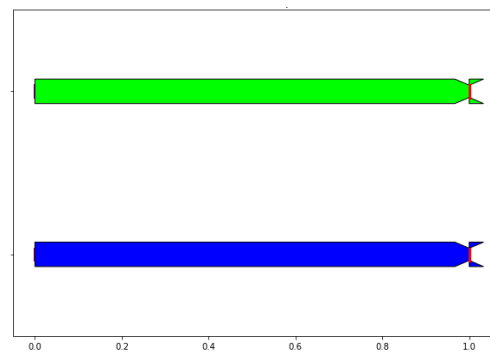


Figure 5 The Illustration of the Target Feature from CNN Model

Later, these features are used in the classification stage of the proposed framework. The classification stage uses 5 different machine learning classifiers. These are SVM, AdaBoost, kNN, MLP, and NB algorithms (Fig. 2).



### 2.3. Support vector machine, Adaptative boosting, K nearest neighbor, Multilayer perceptron, Naive bayes

The support vector machine (SVM) was first introduced by Vapnik (Cortes, 1995) for classification and regression. The basic idea of the algorithm is to find the best hyperplane (Eq. (4)). In Eq. (4);  $w$ ,  $x$ ,  $b$ , and  $f(x)$  represents a vector to the hyperplane, training data, bias, and class, respectively for a two-class problem.

$$f(x) = (w * x) + b(x \in R^m) \quad (4)$$

Also, this method is proposed to solve multi-class problems. If the data cannot be separated linearly, a mapping function, called as kernel, is used to determine the hyperplane. So, the hyperplane can be formulated as in Eq. (5). In Eq. (6);  $f(x_d)$ ,  $x_j$ , and  $x_d$  represents the class of new input data, a support vector, and input data, respectively.

$$\min \frac{1}{2} ||w||^2 = \min \frac{1}{2} w^T w \quad (5)$$

$$f(x_d) = \sum_{j=1}^{N_s} a_j y_j x_j x_d + b \quad (6)$$

Adaptative boosting (AdaBoost) was proposed by Freund and Schapire in 1996 (Freund & Schapire, 1997). It was developed for binary classification. This algorithm is an ensemble method and aims to convert a number of weak classifiers into a strong classifier. The final classifier is given in Eq. (7). In Eq. (7);  $f_i(x)$ ,  $w_i$ , and  $t$  represents the  $i^{th}$  weak classifier, the weight, and the number of the weak classifiers, respectively.

$$f(x) = \begin{cases} 1, & \text{if } \sum_{i=1}^t w_i f_i(x) \geq \text{threshold} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (7)$$

In the pattern recognition field, K Nearest Neighbor (kNN) is one of the non-parametric classifiers (Cover & Hart, 1967). The kNN classifier often uses the Euclidean distance metric for measuring the distances between the data points (Eq. (8)) (Witten & Frank, 2002).

$$D(i,j) = \sqrt{\sum_{t=1}^m (x_{it} - x_{jt})^2} \quad (8)$$

The multilayer perceptron (MLP) (Witten & Frank, 2002) has three layers: input, hidden, and output. It has neurons that map the input to the output class. The output  $y_t$  of a neuron  $t$  is given in Eq. (9). In Eq. (9);  $x_i$ ,  $w_{ti}$ , and  $\varphi(\cdot)$  represents the input, the connection weight, and the activation function, respectively. In the input layer, the number of neurons is determined by the dimension of the input. In the output layer, the number of neurons is determined by the number of output classes. In the hidden layer, the number of the neurons is determined according to the best performance.

$$y_t = \varphi(\sum_{i=0}^m x_i w_{ti}) \quad (9)$$

The Naive Bayes (NB) algorithm is based on Bayes Theorem (Russell & Norvig, 2002). Bayes Theorem is given in Eq. (10). In Eq. (10);  $P(Y)$ ,  $P(X|Y)$ ,  $P(X)$ , and  $P(Y|X)$  represents the probability of the class, conditional probability of the class for the given attribute, probability of the attribute, and the conditional probability that attribute belongs to the class, respectively.

$$P(Y|X) = \frac{P(Y)P(X|Y)}{P(X)} \quad (10)$$

## 3. Results

In this study, all the research is conducted by using Python language using a computer having an Intel(R) Core(TM) i7-7700 CPU, 24 GB memory, and GeForce GT 730 GPU (NVIDIA).

CT images were obtained for the disease detection. The training and test sets were randomly selected as 70% training and 30% test data based on the CT image data to analyze the classifier's accuracy and performance.

### 3.1. Evaluation metrics

The performance of the proposed hybrid frameworks was measured with different metrics such as sensitivity, precision, accuracy, F1-score, AUC-score, specificity, FPR, FDR, and FNR. The formulations are shown below: (Eqs. (11) - (18)).

$$\text{Accuracy} = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \quad (11)$$

$$\text{Sensitivity} = \frac{TP}{TP + FN} \quad (12)$$

$$\text{Specificity} = \frac{TN}{TN + FP} \quad (13)$$

$$\text{Precision} = \frac{TP}{TP + FP} \quad (14)$$

$$\text{F1 - score} = \frac{2 \times \text{precision} \times \text{sensitivity}}{TP + TN + FP + FN} \quad (15)$$

$$\text{FPR} = \frac{FP}{FP + TN} \quad (16)$$

$$\text{FDR} = \frac{FP}{FP + TP} \quad (17)$$

$$\text{FNR} = \frac{FN}{FN + TP} \quad (18)$$

In these equations, four statistical indices are calculated; namely, false negative (FN), true negative (TN), false positive (FP), and true positive (TP). FN is the number of covid images that are mistakenly classified as non-covid. TN is the number of non-covid images that are correctly classified. FP is the number of non-covid images mistakenly classified as Covid-19. TP is the number of covid images that are correctly classified.

Table 2 Performance of DL-based Hybrid Models

Method	Class	Sensitivity (%)	Precision (%)	Accuracy (%)	F1-score (%)	AUC-score (%)	Specificity (%)	FPR (%)	FDR (%)	FNR (%)
CNN+SVM	covid	<b>85.85</b>	<b>85.86</b>	<b>85.86</b>	<b>85.85</b>	<b>85.85</b>	<b>86.47</b>	<b>13.52</b>	<b>13.86</b>	<b>14.76</b>
CNN+AdaBoost	covid	73.68	73.68	73.68	73.68	73.68	73.77	26.22	26.55	26.40
CNN+kNN	covid	82.25	82.26	82.24	82.24	82.25	81.14	18.85	18.66	16.63
CNN+MLP	covid	82.35	82.35	82.35	82.35	82.35	81.96	18.03	18.10	17.25
CNN+NB	covid	53.29	56.47	53.04	46.62	53.29	18.23	81.76	48.42	11.64

Table 3 Confusion Matrix of the Observed Deep Learning Algorithms on Dataset

Method	Actual Classes	Predicted	
		Covid	normal
CNN+SVM	Covid	410 (TP)	71 (FN)
	Normal	66 (FP)	422 (TN)
CNN+AdaBoost	Covid	354 (TP)	127 (FN)
	Normal	128 (FP)	360 (TN)
CNN+kNN	Covid	401 (TP)	80 (FN)
	Normal	92 (FP)	396 (TN)
CNN+MLP	Covid	398 (TP)	83 (FN)
	Normal	88 (FP)	400 (TN)
CNN+NB	Covid	425 (TP)	56 (FN)
	Normal	399 (FP)	89 (TN)

The performance results of the proposed framework are shown in Table 2.

CNN+SVM performed the highest with a sensitivity of 85.85%, a precision of 85.86%, an accuracy of 85.86%, an F1-score of 85.85%, an AUC score of 85.85%, a specificity of 86.47%, an FPR of 13.52%, an FDR of 13.86%, and an FNR of 14.76%.

CNN+NB achieved the poorest performance with a sensitivity of 53.29%, a precision of 56.47%, an accuracy of 53.04%, an F1-score of 46.62%, an AUC score of 53.29%, a specificity of 18.23%, an FPR of 81.76%, an FDR of 48.42%, and an FNR of 11.64%.

CNN+MLP model demonstrated higher accuracy (82.35%) than CNN+kNN (82.26%) and CNN+AdaBoost (73.68%). Also, with respect to sensitivity, precision, F1-score, AUC score, and specificity, the results show that the CNN+MLP model achieved higher performance than CNN+kNN and CNN+AdaBoost (Fig. 6).

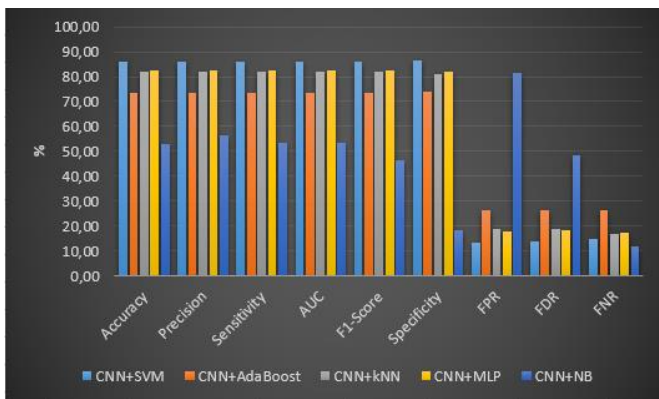


Figure 6 The Comparison of Accuracy, Precision, Sensitivity, AUC, F1-score, Specificity, FPR, FDR, and FNR for Each Model

A Confusion matrix is a metrics used to obtain the accuracy, precision, sensitivity, specificity, F1-score, FPR, FDR, and FNR of the model described in Equations (11-18). Table 3 shows true positives (TP), true negatives (TN), false positives (FP), and false negatives (FN) based on two classes (covid, normal).

To the best of our knowledge, the performance comparison of hybrid models (deep learning + machine learning) is limited on the combined image datasets. Table 4 shows the related studies which are using the same datasets. Wang et al. (2020) studied the Parallel Adapter algorithm to predict disease on the SARS-CoV-2 CT-scan dataset and obtained an accuracy of 82.13%. Wang et al. (2020) also studied with SepNorm+Contrastive to predict disease on the COVID-CT dataset and obtained an accuracy of 78.69%. Polsinelli et al. (2020) studied with CNN to predict disease on the COVID-CT dataset and obtained an accuracy of 83%. Saeedi et al. (2020) studied with ResNet50V2 to predict disease on the COVID-CT dataset and obtained an accuracy of 84.03%. Silva et al. (2020) studied EfficientNet Based Model to predict disease on combined image dataset and obtained an accuracy of 59.12%. In this context, the CNN+SVM hybrid model outperformed the best study ever reported in the literature in terms of performance metrics on the combined dataset.

Our proposed CNN method has fewer hidden layers in the proposed DL-based hybrid approach. We think that if CNN is trained with more neurons or more hidden layers or on a large amount of data, it can achieve higher accuracy results than 85.86%.

Table 4 Comparison with the Studies in the Literature

Approach	Dataset	Method	Accuracy(%)
Polsinelli et al. (2020)	COVID-CT	CNN	83
Silva et al. (2020)	SARS-CoV-2 CT-scan + COVID-CT	EfficientNet Based Model	59.12
Wang et al. (2020)	SARS-CoV-2 CT-scan	Parallel Adapter	~82.13
Wang et al. (2020)	SARS-CoV-2 CT-scan	Joint (Redesign)	~78.42
Wang et al. (2020)	SARS-CoV-2 CT-scan	Single (COVID-Net)	~77.12
Wang et al. (2020)	COVID-CT	Single (Redesign)	~77.07
Wang et al. (2020)	COVID-CT	Joint (Redesign)	~69.67
Wang et al. (2020)	COVID-CT	MS-Net	~76.23
Wang et al. (2020)	COVID-CT	SepNorm+Contrastive	~78.69
Saeedi et al. (2020)	COVID-CT	InceptionV3	~81.63
Saeedi et al. (2020)	COVID-CT	ResNet50V2	~84.03
Saeedi et al. (2020)	COVID-CT	ResNet50V1	~73.72
<b>Proposed</b>	SARS-CoV-2 CT-scan + COVID-CT	<b>CNN+SVM</b>	<b>85.86</b>

## 4. Conclusions

In this work, we proposed a framework for COVID-19 prediction. For the diagnosis, we applied DL-based hybrid architectures on CT combined datasets. CNN features were given to the machine learning classifiers (SVM, kNN, AdaBoost, MLP, NB) to measure the classification performance in a deep hybrid approach. CNN model consists of 4 convolutional layers, 4 max-pooling layers, and 4 dropout layers. These models automatically extract features from the input data and later generate COVID-19 predictions with machine learning techniques.

Model performance value is evaluated in terms of sensitivity, precision, accuracy, F1-score, AUC-score, specificity, FPR, FDR, and FNR. Experimental results are acquired with CNN+SVM, CNN+AdaBoost, CNN+kNN, CNN+MLP, and CNN+NB. With the developed CNN+SVM model, the highest accuracy rate of 85.86% is achieved.

The results can be improved by a larger CT dataset or by employing different CNN architectures. In the future, we will use different types of classifiers and different CNN architectures to improve the classification performance.

## References

- [1] KARAKUŞ, A. T.. "The Data Science Met with the COVID-19: Revealing the Most Critical Measures Taken for the COVID-19 Pandemic". *Sakarya University Journal of Computer and Information Sciences*, 3(3), 201-209, 2020.
- [2] Wu X., et al.. "Deep learning-based multi-view fusion model for screening 2019 novel coronavirus pneumonia: a multicentre study". *European Journal of Radiology*, 109041, 2020.
- [3] Jin C., et al.. "Development and Evaluation of an AI System for COVID-19 Diagnosis". *medRxiv*, 2020.
- [4] Javaheri T., et al.. "Covidnet: An open-source deep learning approach to identify covid-19 using ct image". *arXiv preprint arXiv:2005.03059*, 2020.
- [5] Jin S., et al.. "AI-assisted CT imaging analysis for COVID-19 screening: Building and deploying a medical AI system in four weeks". *medRxiv*, 2020.
- [6] Chen J., et al.. "Deep learning-based model for detecting 2019 novel coronavirus pneumonia on high-resolution computed tomography: a prospective study". *MedRxiv*, 2020.
- [7] Ardakani A. A., Kanafi A. R., Acharya U. R., Khadem N., & Mohammadi A. "Application of deep learning technique to manage COVID-19 in routine clinical practice using CT images: Results of 10 convolutional neural networks". *Computers in Biology and Medicine*, 103795, 2020.
- [8] He X., Yang X., Zhang S., Zhao J., Zhang Y., Xing E., & Xie P. "Sample-Efficient Deep Learning for COVID-19 Diagnosis Based on CT Scans". *medRxiv*, 2020.
- [9] Wang S., et al. "A deep learning algorithm using CT images to screen for Corona Virus Disease (COVID-19)". *MedRxiv*, 2020.
- [10] Song Y., et al. "Deep learning enables accurate diagnosis of novel coronavirus (COVID-19) with CT images". *medRxiv*, 2020.
- [11] Zheng C., et al. "Deep learning-based detection for COVID-19 from chest CT using weak label". *medRxiv*, 2020.
- [12] Singh D., Kumar V., & Kaur M. "Classification of COVID-19 patients from chest CT images using multi-objective differential evolution-based convolutional neural networks". *European Journal of Clinical Microbiology & Infectious Diseases*, 1-11, 2020.
- [13] Farid A. A., Selim G. I., Awad H., & Khater A. "A Novel Approach of CT Images Feature Analysis and Prediction to Screen for Corona Virus Disease (COVID-19)". *Int. J. Sci. Eng. Res*, 11(3), 1-9, 2020.
- [14] Wang S., et al.. "A deep learning algorithm using CT images to screen for Corona Virus Disease (COVID-19)". *medRxiv*, 2020.
- [15] Song Y., et al.. "Deep learning enables accurate diagnosis of novel coronavirus (COVID-19) with CT images". *medRxiv*, 2020.
- [16] Yang X., et al. "COVID-CT-dataset: a CT scan dataset about COVID-19". *ArXiv e-prints*, arXiv-2003, 2020.
- [17] COVID-CT, <https://github.com/UCSD-AI4H/COVID-CT> (08.09.2020).
- [18] Soares E., Angelov P., Biaso S., Froes M. H., & Abe D. K. "SARS-CoV-2 CT-scan dataset: A large dataset of real patients CT scans for SARS-CoV-2 identification". *medRxiv*, 2020.
- [19] SARS-COV-2 Ct-Scan Dataset A large dataset of CT scans for SARS-CoV-2 (COVID-19) identification,

- <https://www.kaggle.com/plameneduardo/sarscov2-ctscan-dataset> (08.09.2020).
- [20]Ciresan D. C., Meier U., Masci J., Gambardella L. M., & Schmidhuber J. “Flexible, high performance convolutional neural networks for image classification”. In *Twenty-second international joint conference on artificial intelligence*, 2011.
- [21]Yildirim M., & Cinar A. “A Deep Learning Based Hybrid Approach for COVID-19 Disease Detections”. *Traitement du Signal*, 37(3), 461-468, 2020.
- [22]Cortes C. “WSupport-vector network”. *Machine learning*, 20, 1-25, 1995.
- [23]Freund Y., & Schapire R. E. “A decision-theoretic generalization of on-line learning and an application to boosting”. *Journal of computer and system sciences*, 55(1), 119-139, 1997.
- [24] Cover T., & Hart P. “Nearest neighbor pattern classification”. *IEEE transactions on information theory*, 13(1), 21-27, 1967.
- [25]Witten I. H., & Frank E. “Data mining: practical machine learning tools and techniques with Java implementations”. *Acm Sigmod Record*, 31(1), 76-77, 2002.
- [26]Russell S., & Norvig P. “Artificial intelligence: a modern approach”. 2002.
- [27]Polsinelli M., Cinque L., & Placidi G. “A Light CNN for detecting COVID-19 from CT scans f the chest. arXiv preprint arXiv:2004.12837”. 2020.
- [28]Silva P., Luz E., Silva G., Moreira G., Silva R., Lucio D., & Menotti D. “COVID-19 detection in CT images with deep learning: A voting-based scheme and cross-datasets analysis”. *Informatics in Medicine Unlocked*, 20, 100427, 2020.
- [29]Wang Z., Liu Q., & Dou Q. “Contrastive Cross-Site Learning With Redesigned Net for COVID-19 CT Classification”. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, 24(10), 2806-2813, 2020.
- [30]Saeedi A., Saeedi M., & Maghsoudi A. “A novel and reliable deep learning web-based tool to detect COVID-19 infection form chest CT-scan”. *arXiv preprint arXiv:2006.14419*, 2020.



# On the Mass and Magnetic Field of the Neutron Star in the Ultraluminous X-Ray Source NGC 300 ULX1

Mehmet Hakan Erkut<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> Istanbul Bilgi University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, 34060, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0003-1054-264X), [mherkut@gmail.com](mailto:mherkut@gmail.com)

(First received 18 May 2021 and in final form 15 August 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.939104)

**ATIF/REFERENCE:** Erkut, M. H. (2021). On the Mass and Magnetic Field of the Neutron Star in the Ultraluminous X-Ray Source NGC 300 ULX1. *European Journal of Science and Technology*, (27), 74-81.

## Abstract

The accreting compact objects in most of ultraluminous X-ray sources (ULXs) are likely to be neutron stars rather than black holes as suggested by the recent detection of periodic pulsations from some of these sources located in neighboring galaxies and one ULX that has hitherto been discovered in our own galaxy. As a member of the ULX family, NGC 300 ULX1 is a new pulsating ULX (PULX) spinning up at substantially high rates compared with other PULXs. In this paper, the strength of the magnetic field on the surface of the neutron star is inferred from the energy of the cyclotron absorption line detected in the pulsed X-ray spectrum of NGC 300 ULX1 and the plausible ranges for the neutron-star mass and beaming fraction are estimated using the observed spin period and period derivative of the pulsar and the measured X-ray flux of the source. Our analysis favors proton cyclotron resonance scattering as a viable mechanism to account for both the observed cyclotron energy and high spin-up rates provided that the absorption line is generated close to the surface of the neutron star.

**Keywords:** Neutron stars, Accretion, X-ray binary stars.

## Aşırı Parlak X-Işın Kaynağı NGC 300 ULX1'deki Nötron Yıldızının Kütle ve Manyetik Alanı Üzerine

### Öz

Şu ana kadar galaksimizde keşfedilen bir aşırı parlak X-ışın kaynağı (APX) ve komşu galaksilerde bulunan bazı APX'lerden geldiği kısa süre önce saptanan periyodik pulsasyonların düşündürdüğü üzere, APX'lerin çoğunda kütle yığıştıran yoğun cisimler karadeliklerden daha çok, büyük olasılıkla, nötron yıldızlarıdır. APX ailesinin bir üyesi olan NGC 300 ULX1, diğer pulsasyonlu APX'ler (PAPX) ile karşılaştırıldığında oldukça yüksek oranlarda dönüşü hızlanan yeni bir PAPX'tir. Bu makalede, NGC 300 ULX1'in pulsasyonlu X-ışın tayfında saptanan siklotron soğurma çizgisinin enerjisinden nötron yıldızının yüzeyindeki manyetik alan yoğunluğu çıkarılmakta ve kaynağın X-ışın akısı ile pulsarın gözlenen dönme periyodu ve periyot türevi kullanılarak nötron yıldızının kütle ve hümeleme oranı için olası aralıklar kestirilmektedir. Analizimiz, soğurma çizgisinin nötron yıldızı yüzeyine yakın üretilmesi koşuluyla, gözlenen siklotron enerjisi ve dönme hızındaki yüksek artış oranlarının her ikisini de açıklayacak yeterli bir mekanizma olması bakımından proton siklotron rezonans saçılımını desteklemektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Nötron yıldızları, Yığışma, X-ışın çift yıldızları.

\* Corresponding Author: [mherkut@gmail.com](mailto:mherkut@gmail.com)

## 1. Introduction

Among the most energetic sources such as active galactic nuclei (AGN), gamma-ray bursts, and supernovae are the ultraluminous X-ray sources (ULXs) observed in nearby galaxies with typical X-ray luminosities in the  $\sim 10^{39}$ – $10^{41}$  erg  $s^{-1}$  range. ULXs can be distinguished from AGN based on their off-nuclear positions in the host galaxy. The Eddington limit for the luminosity of a stellar mass object of  $\sim 1$ – $10 M_{\odot}$  is exceeded by the X-ray luminosity of a ULX under the assumption of isotropic emission. A few members of this family, which are also known as hyperluminous X-ray sources, observed in the higher luminosity tail of the ULX population with luminosities  $\geq 10^{41}$  erg  $s^{-1}$  are still believed to be potentially powered by the intermediate mass black holes of  $10^2$ – $10^5 M_{\odot}$  accreting matter and emitting X-rays isotropically. It is however likely for most of the ULXs with the standard  $10^{39}$ – $10^{41}$  erg  $s^{-1}$  luminosity range that the neutron stars and stellar mass black holes in high-mass X-ray binaries accrete matter at super-Eddington rates and emit radiation anisotropically with a geometrical beaming factor that accounts for the observed super-Eddington luminosities (Kaaret et al., 2017).

Coherent pulsations with periods in the 0.417–31.6 s range have recently been detected in X-rays from seven ULXs of which one, namely, Swift J0243.6+6124 is galactic (Wilson-Hodge et al., 2018) and all the others, namely, M82 X-2, ULX NGC 7793 P13, ULX NGC 5907, NGC 300 ULX1, NGC 1313 X-2, and M51 ULX-7 are extragalactic (Bachetti et al., 2014; Fürst et al., 2016; Israel et al., 2017; Carpano et al., 2018; Sathyaprakash et al., 2019; Rodríguez Castillo et al., 2020). The discovery of periodic signals from pulsating ULXs (PULXs) has firmly confirmed that the majority of accreting compact stars in ULXs are indeed stellar-mass objects and presumably neutron stars being outnumbered compared to black holes. The observed X-ray luminosities of PULXs above the Eddington limit have been explained either by the effect of moderate beaming (Bachetti et al., 2014) or by the presence of sufficiently high neutron-star magnetic fields to reduce the scattering cross section and therefore increase the level of maximum critical luminosity (Ekşi et al., 2015). The recent analysis of PULXs has revealed that both the beaming of X-ray emission and the reduction of cross section due to the magnetic field of the neutron star should be taken into account for studying the feasibility of different spin and luminosity states (Erkut et al., 2020).

The lack of pulsations should not be considered as a direct evidence for black holes in non-pulsating ULXs. An optically thick environment enveloping the neutron-star magnetosphere and hence wiping off the pulsations imprinted in the X-ray emission (Ekşi et al., 2015), a super-Eddington propeller stage where the spindown power brightens the source even in the absence of accretion (Erkut et al., 2019) or an emission with a small fraction of beaming (Erkut et al., 2020) can be the reason of why we do not observe pulsations from other ULXs. The presence of a cyclotron resonance scattering feature (CRSF) in the spectrum of a ULX is a signature of the neutron-star magnetic field on the X-ray emission whether or not pulsations are detected. CRSFs have been observed in the X-ray spectra of the PULX NGC 300 ULX1 (Walton et al., 2018) and the non-pulsating ULX M51 ULX-8 (Brightman et al., 2018) providing further support in favor of neutron stars rather than black holes for the identification of the compact object in ULXs.

In this paper, the neutron star's surface magnetic field is inferred from the energy of a potential cyclotron absorption line detected at  $\sim 13$  keV in the pulsed spectrum of NGC 300 ULX1. Using the magnetic field estimates in line with both the electron and proton cyclotron interpretations of the observed feature, the allowed region is determined in the parameter space of beaming fraction and neutron-star mass. In addition to the range estimate for the mass and beaming fraction, the state of the accretion disk around the neutron star is discussed taking into account the relative positions of the spherization and corotation radii with respect to the innermost disk radius at sufficiently high rates of mass transfer and the structure of the magnetic-field-threaded inner disk boundary region is revealed.

## 2. Material and Method

### 2.1. Assumptions and Equations

The suppression of the electron scattering opacity by the high-strength magnetic field on the stellar surface leads to an increase in the maximum critical luminosity  $L_c$  of an accreting neutron star (Paczynski, 1992). For negligible field strengths, the Eddington limit defines the maximum critical luminosity, that is,  $L_c = L_E$ . The maximum critical luminosity of an accreting neutron star can be written as

$$L_c = \left[ 1 + 311 \left( \frac{B}{B_c} \right)^{4/3} \right] L_E \quad (1)$$

where the magnetic field on the neutron star surface is  $B$ , the value of the quantum critical field for electrons is

$$B_c = \frac{m_e^2 c^3}{\hbar e} \cong 4.4 \times 10^{13} \text{ G}, \quad (2)$$

and the Eddington luminosity is

$$L_E = 4\pi G M_* m_p c / \sigma_T \approx 1.8 \times 10^{38} M_{1.4} \text{ erg s}^{-1} \quad (3)$$

(Erkut et al., 2020). In Equations (2) and (3),  $M_{1.4}$  represents the neutron-star mass  $M_*$  in units of 1.4 solar mass,  $\sigma_T$  stands for the Thomson cross section of the electron, and  $e$  is the elementary charge. The electron and proton masses are given by  $m_e$  and  $m_p$ , respectively. The fundamental constants such as the reduced Planck's constant, the speed of light, and the gravitational constant are denoted by their usual symbols.

The relation between the luminosity and flux of the source in X-rays can be expressed in terms of the source distance  $d$  and the beaming fraction  $b \leq 1$  as

$$L_X = 4\pi b d^2 F_X, \quad (4)$$

where  $L_X$  is the intrinsic X-ray luminosity of the source and  $F_X$  is the unabsorbed source flux in X-rays measured by a distant observer. Assuming that the gravitational potential energy is mostly released in X-rays,

$$L_X = GM_* \dot{M}_* / R_* = \varepsilon \dot{M}_* c^2 \quad (5)$$

yields the X-ray luminosity in terms of the neutron star's mass and radius  $R_*$ , the efficiency of gravitational energy release  $\varepsilon$ , and the mass-accretion rate  $\dot{M}_*$  onto the neutron-star surface. In a

steady state, the mass accretion rate is the same as the mass-inflow rate at the innermost radius  $R_{in}$  of the accretion disk interacting with the neutron star. For ULXs, where the donor star in a high-mass X-ray binary presumably transfers mass at super-Eddington (supercritical) rates,

$$\dot{M}_0 > \dot{M}_E = \frac{L_E}{\epsilon c^2}, \quad (6)$$

to the disk around the neutron star, the spherization of the accretion flow due to high radiation pressure inside the so-called spherization radius  $R_{sp}$  occurs if  $R_{in} < R_{sp}$ . The spherization radius for a supercritical accretion disk around a neutron star of mass  $M_*$  and radius  $R_*$  is given by

$$R_{sp} = \frac{27 \sigma_T GM_* \dot{M}_0}{8 \pi m_p R_* c^3} \quad (7)$$

(Shakura & Sunyaev, 1973). The self regulation of the mass inflow in the disk such that the Eddington limit can be slightly exceeded by the local disk luminosity leads to an outflow of matter for  $R_{in} < R < R_{sp}$ . The mass accretion rate onto the neutron-star surface is then determined only by a fraction of the mass transfer rate, i.e.,  $\dot{M}_* = (R_{in} / R_{sp}) \dot{M}_0$ . The spherization of the disk is not realized even at high mass-accretion rates provided  $R_{in} > R_{sp}$ . In this regime, the mass-transfer rate directly determines the mass-accretion rate, that is,  $\dot{M}_* = \dot{M}_0$  (Shakura & Sunyaev, 1973; Erkut et al., 2020).

The inner radius of a supercritical accretion disk truncated by the magnetosphere of a neutron star can be derived from the conservation of angular momentum, which can be written in a simple form as

$$\frac{d}{dR} (\dot{M} R^2 \Omega) = -R^2 B_\phi^+ B_z \quad (8)$$

at a disk radius  $R$  inside the boundary layer within the neighborhood of  $R_{in}$ . Equation (8) reflects the close balance between the magnetic and material stresses in this innermost disk region. The angular velocity  $\Omega$  of the boundary region deviates from its Keplerian value  $\Omega_K(R_{in})$  to match with the rotation frequency of the neutron star under the action of magnetic stresses, which are due to coupling between the toroidal magnetic field component at the disk surface  $B_\phi^+$  and the poloidal magnetic field component  $B_z$  of magnetospheric origin (Ghosh & Lamb, 1979). Integrating Equation (8) over the radial width of the boundary region,  $\delta R_{in}$ , while taking into account the supercritical disk regimes with  $R_{in} < R_{sp}$  and  $R_{in} > R_{sp}$ , Erkut et al. (2020) found

$$R_{in} = \left( \frac{B^2 R_*^5 \sqrt{GM_*} \delta}{16 \pi b d^2 F_X} \right)^{2/7} \quad (9)$$

for the inner radius of the accretion disk assuming that the poloidal field has a dipolar nature giving rise to the toroidal field

$$\frac{B_\phi^+}{B_z} = \frac{\Omega_* - \Omega_K(R_{in})}{\Omega_K(R_{in})} = \omega_* - 1 \quad (10)$$

as a result of the differential rotation between the innermost disk matter and the neutron-star magnetosphere. In Equation (10), the fastness parameter,

$$\omega_* \equiv \frac{\Omega_*}{\Omega_K(R_{in})} = \left( \frac{R_{in}}{R_{co}} \right)^{3/2}, \quad (11)$$

is defined in terms of the ratio of the inner radius to the corotation radius,  $R_{co}$ , which is deduced from  $\Omega_K(R_{co}) = \Omega_*$  as

$$R_{co} = \left( \frac{GM_*}{\Omega_*^2} \right)^{1/3} = \left( \frac{GM_* P^2}{4\pi^2} \right)^{1/3}, \quad (12)$$

where  $P$  is the spin period of the neutron star. Note that the rotation frequency  $\Omega_*$  of the neutron star should not exceed  $\Omega_K(R_{in})$  in order for the matter in the boundary region to overcome the centrifugal barrier and be accreted by the neutron star. Therefore,  $\omega_* < 1$  ( $R_{in} < R_{co}$ ) must be satisfied in an accreting system.

The mass accreting objects are expected to spin up as they acquire the excess of angular momentum carried by the infalling matter. The accretion torque acting on a neutron star of moment of inertia  $I$  can therefore be expressed as

$$N = -2\pi \dot{P} / P^2 = \dot{M}_* \sqrt{GM_* R_{in}}. \quad (13)$$

Using Equations (4), (5), (9), (11), and (12), it follows from Equation (13) that

$$B = \frac{\omega_*}{R_*^3} \sqrt{\frac{2GM_* I |\dot{P}|}{\pi \delta}} \quad (14)$$

for the polar surface-field strength and

$$\omega_* = \frac{\pi GM_*}{4} \left( \frac{I |\dot{P}|}{b d^2 F_X P^{7/3} R_*^2} \right)^{3/7} \quad (15)$$

for the fastness parameter (Erkut et al., 2020). Next, Equations (14) and (15) are combined to solve for the beaming fraction

$$b = \frac{\pi^{1/6} \sqrt{GM_*} (I |\dot{P}|)^{7/6}}{\sqrt{2} \delta^{1/6} B^{1/3} R_*^2 d^2 F_X P^{7/3}} \quad (16)$$

in terms of the measurable parameters such as  $d$ ,  $F_X$ ,  $P$ , and  $\dot{P}$  in addition to  $B$ ,  $M_*$ ,  $R_*$ ,  $I$ , and  $\delta$  inferred from model dependent interpretations of observations. Note from Equation (15) that the lower limit for the beaming fraction corresponds to the upper limit of the fastness parameter, that is, for the lower limit of  $b$ ,

$$b_{min} = \left( \frac{\pi GM_*}{4} \right)^{1/3} \frac{I |\dot{P}|}{d^2 F_X P^{7/3} R_*^2} \quad (17)$$

is obtained by setting  $\omega_* = 1$  in Equation (15).

The X-ray luminosity of an accreting neutron star cannot exceed the maximum critical luminosity (Equation 1). The subcritical luminosity condition,  $L_X \leq L_c$ , is considered to estimate the upper limit of the beaming fraction. Using Equations (1) and (4),  $L_X \leq L_c$  yields

$$b \leq \left[ 1 + 311 \left( \frac{B}{B_c} \right)^{4/3} \right] \frac{L_E}{4\pi d^2 F_X}. \quad (18)$$

The upper limit of the beaming fraction is given by  $b = 1$  unless the right hand side of the inequality (Equation 18) is less than 1. The upper limit of  $b$  is therefore expressed as

$$b_{\max} = \min \left\{ 1, \left[ 1 + 311 \left( \frac{B}{B_c} \right)^{4/3} \right] \frac{L_E}{4\pi d^2 F_X} \right\}. \quad (19)$$

The lower and upper limits given in Equations (17) and (19) can be useful in exploring the physically plausible region in the phase space defined by the parameters in Equation (16).

## 2.2. Cyclotron Feature and Magnetic Field

The resonant scattering of photons by electrons and protons moving in a magnetic field with quantized cyclotron orbits of energies known as Landau levels may lead to the formation of absorption features in the X-ray spectrum of a magnetized neutron star. The magnetic poles of the neutron star are therefore seen as the prime candidates for the regions where these absorption lines can be generated following the interaction of the radiation emitted by the neutron star with the charged particles of the infalling plasma along the field lines.

The energy of each cyclotron line is an integer multiple of  $\hbar\omega_{\text{cyc}}$ , where  $\omega_{\text{cyc}} = eB/(mc)$  is the cyclotron frequency of a particle of charge  $e$  and mass  $m$ . The observed energy of the cyclotron feature is expected to be redshifted with respect to the genuine line energy due to the strong gravitational field of the neutron star. The energy of the potential cyclotron feature to be detected in the source spectrum is then

$$E_{\text{cyc}} = \frac{n\hbar e}{(1+z)mc} B. \quad (20)$$

The gravitational redshift in Equation (20) is

$$z = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{2GM_*}{c^2 R_{\text{cyc}}}}} - 1, \quad (21)$$

where  $R_{\text{cyc}}$  is the line formation radius. The quantum number  $n = 1$  yields the fundamental line corresponding to the transition from the ground state to the first excited state and the quantum number  $n = 2$  gives the first harmonic of the fundamental line resulting from the transition from the ground state to the second excited state (Staubert et al., 2019).

Substituting the electron mass  $m_e$  for the mass of the charged particle  $m$  in Equation (20), the magnetic field in the medium, where the electron cyclotron resonance scattering feature (eCRSF) is expected to form, is estimated as

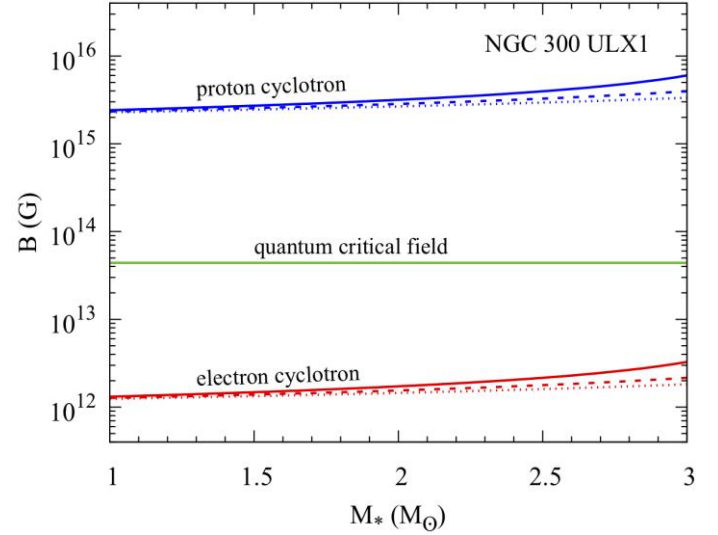


Figure 1. Magnetic field estimate for a wide range of the neutron-star mass using the CRSF detected at 12.8 keV in the X-ray pulsed spectrum of NGC 300 ULX1 with regard to electrons and protons. The solid, dashed, and dotted curves are obtained for the neutron-star radii of 10, 12, and 14 km, respectively.

$$B_e \cong \frac{E_{\text{cyc}}}{11.6 \text{ keV}} \left( \frac{1+z}{n} \right) \times 10^{12} \text{ G}. \quad (22)$$

Similarly, the proton mass  $m_p$  is substituted for the particle mass  $m$  in Equation (20) to estimate the magnetic field as

$$B_p \cong \frac{E_{\text{cyc}}}{6.32 \text{ keV}} \left( \frac{1+z}{n} \right) \times 10^{15} \text{ G} \quad (23)$$

for the medium where the proton cyclotron resonance scattering feature (pCRSF) would be produced. Note that the  $B$  values estimated according to the eCRSF and pCRSF interpretations of the observed cyclotron line energy differ from one another by orders of magnitude.

## 3. Results and Discussion

### 3.1. Magnetic Field of the Neutron Star in NGC 300 ULX1

A direct method for the estimation of the magnetic field strength on the surface of an accreting neutron star is to measure the centroid energy  $E_{\text{cyc}}$  of a CRSF detected in the X-ray spectrum of the source. Based on the phase-resolved broadband spectroscopy, a potential CRSF at  $E_{\text{cyc}} \approx 12.8$  keV was detected in the pulsed spectrum of NGC 300 ULX1 using XMM-Newton and NuSTAR data (Walton et al., 2018). The same data set had also revealed the presence of coherent pulsations with a neutron-star spin period of  $\sim 31.6$  s (Carpano et al., 2018).

The line energy at 12.8 keV is substituted for  $E_{\text{cyc}}$  in Equations (22) and (23) to estimate the surface magnetic field of the neutron star based on both the electron and proton interpretations of the observed CRSF, as shown in Figure 1. The absorption feature detected in the pulsed spectrum is presumed to correspond to the fundamental cyclotron line given by  $n = 1$ , as also suggested by Walton et al. (2018). Setting  $R_{\text{cyc}} = R_*$  in Equation (21), the redshift factor in Equations (22) and (23) is calculated in line with the assumption that the cyclotron line is



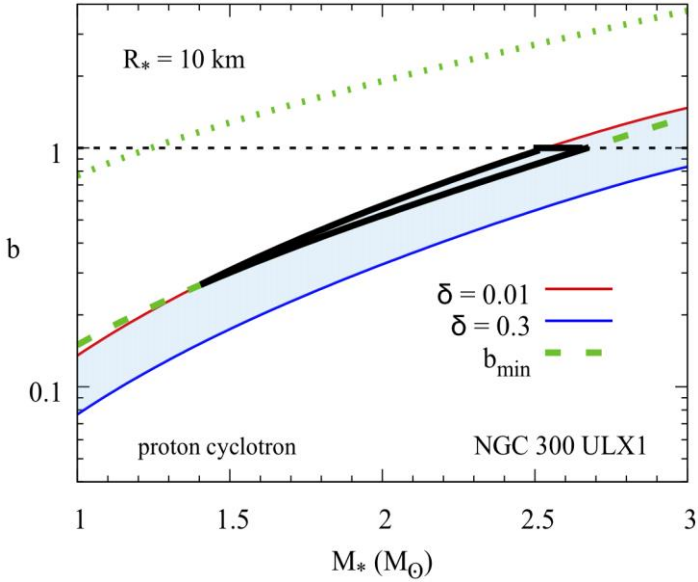


Figure 2. Beaming fraction as a function of the mass of the neutron star in NGC 300 ULX1. The shaded area bounded by the solid black curve represents the allowed region for the mass and beaming fraction according to the proton cyclotron interpretation when the neutron-star radius is 10 km. See the text for the detailed explanation of all curves in the plot.

produced near the surface of the neutron star at an emission height that is negligible compared to the neutron-star radius as is likely the case with some, if not all, of the sources accreting at supercritical rates (Becker et al., 2012). A brief speculation is presented in Section 4 on the possible consequences of a higher altitude being well above the neutron-star surface as a choice for the emission region where the CRSF could be generated.

The variation of the surface magnetic field over a wide range of neutron-star mass is displayed in Figure 1. The 1–3  $M_{\odot}$  range for the mass is also in agreement with the range of neutron-star masses measured from pulsar timing (Lattimer, 2019). In Figure 1, the curves of magnetic field estimate according to both electron and proton cases are obtained for three different neutron-star radii in the 10–14 km range that covers almost all of the equations of state supporting the existence of neutron stars of at least 2  $M_{\odot}$  in line with the recent discovery of the massive pulsar J0740+6620 (Cromartie et al., 2020). The ranges under consideration for the neutron-star mass and radius are also consistent with the allowed region determined in the mass-radius space via generalization of the equations of state to higher densities (Lattimer, 2019).

Note from Figure 1 that the magnetic field increases with the mass for a given value of the radius since the redshift factor in Equations (22) and (23) becomes more pronounced for neutron stars of higher compactness. The field values estimated by both the eCRSF and pCRSF interpretations are higher for smaller radii at a given mass for the same reason. The magnetic field inferred from electrons is lower by about three orders of magnitude than the field value inferred from protons, which indeed exceeds the quantum critical magnetic field for electrons (Equation 2). The magnetic field inferred from eCRSF approaches its quantum critical value only when the electron's cyclotron and rest-mass energies are comparable.

The implications of the eCRSF and pCRSF interpretations on the neutron-star mass are studied in the next subsection.

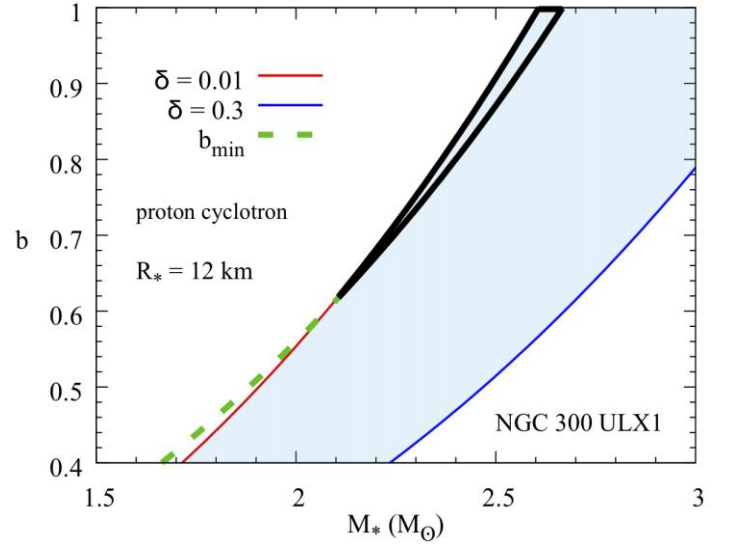


Figure 3. Beaming fraction as a function of the mass of the neutron star in NGC 300 ULX1. The shaded area bounded by the solid black curve represents the allowed region for the mass and beaming fraction according to the proton cyclotron interpretation when the neutron-star radius is 12 km.

### 3.2. Mass of the Neutron Star in NGC 300 ULX1

The combined 2016 observations of the PULX NGC 300 ULX1 by XMM-Newton and NuSTAR have revealed the presence of periodic pulsations in the X-ray data with an average spin period and period derivative being measured as  $P = 31.6$  s and  $\dot{P} = -5.56 \times 10^{-7}$  s s $^{-1}$ , respectively. The 0.3–30 keV X-ray flux of the PULX has been obtained as  $F_X \approx 1.11 \times 10^{-11}$  erg s $^{-2}$  cm $^{-2}$ , which is equivalent to an isotropic X-ray luminosity of  $L_X \approx 4.7 \times 10^{39}$  erg s $^{-1}$  for a source distance of  $d \approx 1.88$  Mpc (Carpano et al., 2018). The isolated spectrum of the pulsed component in the same 2016 X-ray data of NGC 300 ULX1 has subsequently disclosed a potential cyclotron absorption line feature at  $E_{cyc} \approx 12.8$  keV (Walton et al., 2018).

In the following analysis, the above-mentioned numerical values are substituted for all the measured parameters such  $P$ ,  $\dot{P}$ ,  $F_X$ , and  $d$  in Equation (16) and  $E_{cyc}$  in Equations (22) and (23) from which  $B$  in Equation (16) can be inferred according to both the eCRSF and pCRSF interpretations. In Equation (16), the relative width of the boundary region is allowed to vary between  $\delta \approx 0.01$  and  $\delta \approx 0.3$  (Erkut & Çatmabacak, 2017; Erkut et al., 2020) and the empirical formula with dependence on both mass and radius is used for the neutron-star moment of inertia (Lattimer & Schutz, 2005; Erkut et al., 2020). In the same equation, the neutron-star mass is also allowed to vary in the 1–3  $M_{\odot}$  range for the three representative values of the neutron-star radius in the 10–14 km range.

No solution is found for the beaming fraction as a function of mass in the case of eCRSF within the given ranges of mass and radius and even beyond the limits of these ranges as the  $b$  values computed with the help of Equation (16) do not satisfy  $b < b_{max}$  (Equation 19) and, moreover, the condition that  $b_{max} > b_{min}$  is violated. It is not difficult to note from Equations (17) and (19) that the lower and upper constraints on the beaming fraction may start overlapping for sufficiently high values of the period derivative as observed in the case of NGC 300 ULX1 and low values of the surface magnetic field as estimated in line with the eCRSF interpretation (Figure 1).

According to the pCRSF interpretation of the observed line energy, however, physically plausible solutions are obtained in the plane of beaming fraction versus mass as shown in Figures 2 and 3. For a neutron-star radius of 10 km, the variation of the beaming fraction with the mass of the neutron star is shown in Figure 2. The possible values of the beaming fraction in the absence of the upper and lower limits of  $b$  lie within the shaded area bounded by the solid red and blue curves labelled with  $\delta = 0.01$  and  $\delta = 0.3$ , respectively. The inclusion of  $b_{\min}$  shown by the dashed green curve and of  $b_{\max} = 1$  given by the horizontal dashed black line severely constrains the possible  $b$  and  $M_*$  values. The solid black curves in Figures 2 and 3 determine the boundaries of the allowed regions in the  $b$  versus  $M_*$  plane with all possible constraints being taken into account. The  $b$  values above  $b_{\min}$  guarantee the slow rotator condition for accretion to occur, that is,  $\omega_* < 1$  assuring that  $R_{\text{in}} < R_{\text{co}}$ . The dotted green curve passing well above the shaded area corresponds to the upmost limit of the beaming fraction for the inner disk radius to lie outside the spherization radius, i.e.,

$$b < \frac{c}{3d^2 F_X} \left( \frac{GM_* m_p}{2\sigma_T} \right)^{1/3} \left( \frac{I|\dot{P}|}{R_* P^2} \right)^{2/3} \quad (24)$$

for  $R_{\text{in}} > R_{\text{sp}}$ . Note from Figure 2 that all values of the beaming fraction and neutron-star mass enclosed by the allowed region, which is encircled by the solid black curve, are below the upmost limit in Equation (24) and thus are valid for a system where the mass transfer rates might be super-Eddington and yet the disk remains geometrically thin. The same condition is also satisfied in Figure 3 obtained for a neutron star of radius 12 km. No solution is found for the beaming fraction as a function of mass for neutron-star radii  $\geq 14$  km even in the case of pCRSF as  $b_{\min}$  passes above the upper boundary with  $\delta = 0.01$  without crossing the shaded area.

Under the assumption that the absorption line is generated near the surface of the neutron star, i.e.,  $R_{\text{cyc}} \approx R_*$ , the ranges deduced from Figures 2 and 3 for the neutron-star mass and beaming fraction, based on the pCRSF interpretation of the observed feature, are  $1.40 M_{\odot} < M_* < 2.66 M_{\odot}$  and  $0.26 < b < 1$  for  $R_* = 10$  km and  $2.09 M_{\odot} < M_* < 2.66 M_{\odot}$  and  $0.61 < b < 1$  for  $R_* = 12$  km, respectively, on the contrary of the null result based on the eCRSF interpretation of the same feature.

### 3.3. Boundary Region of the Disk around the Neutron Star in NGC 300 ULX1

In the innermost regions of the accretion around a strongly magnetized neutron star, the disk matter rotating in nearly Keplerian orbits couples with the neutron-star magnetosphere via Rayleigh-Taylor and Kelvin-Helmholtz instabilities. The electric currents induced within the neighborhood of the inner disk radius  $R_{\text{in}}$  screen most of the dipolar magnetic field of the neutron star over the radial extent  $\delta R_{\text{in}}$  of the so-called boundary region, also known as the transition zone or boundary layer (Ghosh & Lamb, 1979). The poloidal component of the magnetic field is expected to be attenuated along a screening length of radial width  $\sim \delta R_{\text{in}}$ . The steep radial dependence of the poloidal field component resulting from this efficient attenuation provides the sufficiently large magnetic stresses required to maintain the angular momentum balance against the material stresses in the boundary region (Equation 8).

As can be noted from Equation (8), the change of angular momentum flux carried by the inner disk matter, also being known as material stresses, can be realized only if the matter's rotation rate  $\Omega$  in the boundary region deviates from its Keplerian value and finally matches to the spin frequency of the neutron star with  $\Omega_* < \Omega < \Omega_K(R_{\text{in}})$ . In the inner region of an accretion disk such as the one around the neutron star in the PULX NGC 300 ULX1, a sub-Keplerian boundary region is therefore expected to be formed. The  $z$  component of the strong magnetic field in the boundary region can be deduced from the poloidal component of the induction equation,

$$\frac{\partial B_R}{\partial z} - \frac{\partial B_z}{\partial R} \approx -\frac{v_R B_z}{\eta}, \quad (25)$$

where  $v_R$  is the radial drift velocity of the matter in the disk,  $B_R$  is the radial field component, and  $\eta$  is the magnetic diffusivity (Erkut & Alpar, 2004; Erkut, 2005). Assuming that the  $z$  dependence of  $B_z$  is negligible whereas  $B_R$  obeys the field antisymmetry across the midplane of the disk,

$$B_R(R, z) = \left( \frac{z}{H} \right) B_R^+(R), \quad (26)$$

the simplified version of Equation (25) can be written as

$$\frac{dB_z}{dR} \approx -\frac{B_z}{\alpha_D \delta R_{\text{in}}}, \quad (27)$$

noting that  $|B_r / B_z| \ll 1$  at the disk surface ( $z = H$ ) and the magnetic diffusivity in the boundary region can be prescribed as

$$\eta = -\alpha_D v_R \delta R_{\text{in}}, \quad (28)$$

where the coefficient of magnetic diffusivity is given by a dimensionless constant  $\alpha_D \leq 1$  (Erkut, 2005). The solution of Equation (27) is expressed in a dimensionless form as

$$b_z(x) = b_0 \exp\left(-\frac{x-1}{\alpha_D \delta}\right) \quad (29)$$

using  $x \equiv R / R_{\text{in}}$ ,  $b_z \equiv B_z / B_t$ , and  $b_0 \equiv B_z(R_{\text{in}}) / B_t$ , with

$$B_t = -\frac{\mu}{R_{\text{in}}^3} = -\frac{BR_*^3}{2R_{\text{in}}^3} \quad (30)$$

being the typical value of the magnetic field in the boundary region, which can be estimated by the dipolar field strength at the inner disk radius. Here,  $\mu$  is the magnetic dipole moment of the neutron star in terms of the polar surface-field strength  $B_*$ . Applying coordinate stretching in the boundary region, the field solution in Equation (29) can be written as

$$b_z(X) = b_0 \exp\left(-X/\alpha_D\right) \quad (31)$$

with the help of a new coordinate  $X \equiv (x-1) / \delta$  (Erkut, 2005).

Next, Equation (8) is solved for the radial profile of the sub-Keplerian angular velocity  $\Omega$  in the boundary region. First, Equation (10) is substituted into Equation (8) to express the toroidal field component at the disk surface in terms of  $B_z$ . Then,

$\omega \equiv \Omega/\Omega_K(R_{in})$  is defined in Equation (8) as a non-dimensional parameter in addition to  $x$  and  $b_z$  to obtain

$$\frac{\dot{M}_* \sqrt{GM_*}}{B_t^2 R_{in}^{5/2} \delta} \frac{d\omega}{dX} = -(\omega_* - 1) b_z^2 \quad (32)$$

using  $\dot{M} = \dot{M}_0 = \dot{M}_*$  for  $R_{in} > R_{sp}$ , as suggested by the pCRSF interpretation of the observed cyclotron line in the pulsed spectrum of NGC 300 ULX1. Note that the coefficient in front of the first derivative of  $\omega$  on the left-hand side of Equation (32) is of order unity. Choosing therefore

$$\frac{\dot{M}_* \sqrt{GM_*}}{B_t^2 R_{in}^{5/2} \delta} = 1 \quad (33)$$

simply yields the expression for  $R_{in}$  in Equation (9) if Equations (4), (5), and (30) are employed. Substituting Equation (31) for  $b_z$ , it follows from Equation (32) and (33) that

$$\omega(X) = 1 - (1 - \omega_*) \exp\left(-2X/\alpha_D\right) \quad (34)$$

satisfying the inner boundary condition  $\omega(0) = \omega_*$  (i.e.,  $\Omega = \Omega_*$ ) and the outer boundary condition  $\omega(X \rightarrow \infty) = 1$ , that is,  $\Omega = \Omega_K(R_{in})$  for  $b_0 = (2/\alpha_D)^{1/2}$ .

## 4. Conclusions and Recommendations

Our analysis recommends that the proton cyclotron scattering of photons is more likely to account for the observed absorption feature in the pulsed spectrum of NGC 300 ULX1 than the cyclotron scattering of photons by electrons provided that the production region of the cyclotron line is close enough to the surface of the neutron star. The strong dipolar field of magnetar strength suggested by the pCRSF interpretation of the observed line energy causes the inner disk radius to attain sufficiently large values and hence raises the efficient lever arm to generate a sufficiently large torque needed to explain the observed spin-up rates ( $\dot{P} \sim -10^{-7} \text{ s s}^{-1}$ ) as well.

In the case of eCRSF, the magnetic field inferred from the observed line energy is always much weaker than the field deduced from the same energy according to pCRSF. The only option for the magnetic field estimated by the presumption of eCRSF to reach sufficiently high values to account for the large spin-up rates measured from the combined 2016 XMM-Newton and NuSTAR data of NGC 300 ULX1 is to allow the line generating region to lie well above the surface of the neutron star. The neutron star is then expected to have a surface magnetic field strength of

$$B = 8 \times 10^{12} \left( \frac{R_{cyc}}{2R_*} \right)^3 \left( \frac{B_e}{10^{12} \text{ G}} \right) \text{ G} \quad (35)$$

for a dipolar field. The magnetic field of the region of radius  $R_{cyc}$ , where the cyclotron line is produced, can be calculated using Equation (22). For the surface magnetic field strength of the neutron star in NGC 300 ULX1,  $B \sim 10^{13} \text{ G}$  is inferred from Equation (35) if  $R_{cyc} \sim 2R_*$ . For surface magnetic fields as high as  $10^{13} \text{ G}$ , Erkut et al. (2020) had shown that a marginal solution satisfying the observed spin-up rates of the PULX NGC 300

ULX1 at subcritical luminosity can only be found when the beaming fraction is close to its maximum value  $b = 1$ .

## 5. Acknowledge

The author is a member of Feza Gürsey Center for Physics and Mathematics at Boğaziçi University.

## References

- Bachetti, M., Harrison, F. A., Walton, D. J., Grefenstette, B. W., Chakrabarty, D., Fürst, F., Barret, D., Beloborodov, A., Boggs, S. E., Christensen, F. E., Craig, W. W., Fabian, A. C., Hailey, C. J., Hornschemeier, A., Kaspi, V., Kulkarni, S. R., Maccarone, T., Miller, J. M., Rana, V., Stern, D., Tendulkar, S. P., Tomsick, J., Webb, N. A., & Zhang, W. W. (2014). An ultraluminous X-ray source powered by an accreting neutron star. *Nature*, 514(7521), 202-204.
- Becker, P. A., Klochkov, D., Schönherr, G., Nishimura, O., Ferrigno, C., Caballero, I., Kretschmar, P., Wolff, M. T., Wilms, J., & Staubert, R. (2012). Spectral formation in accreting X-ray pulsars: bimodal variation of the cyclotron energy with luminosity. *Astronomy & Astrophysics*, 544, Article A123.
- Brightman, M., Harrison, F. A., Fürst, F., Middleton, M. J., Walton, D. J., Stern, D., Fabian, A. C., Heida, M., Barret, D., & Bachetti, M. (2018). Magnetic field strength of a neutron-star-powered ultraluminous X-ray source. *Nature Astronomy*, 2, 312-316.
- Carpano, S., Haberl, F., Maitra, C., & Vasilopoulos, G. (2018). Discovery of pulsations from NGC 300 ULX1 and its fast period evolution. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society: Letters*, 476(1), L45-L49.
- Cromartie, H. T., Fonseca, E., Ransom, S. M., Demorest, P. B., Arzoumanian, Z., Blumer, H., Brook, P. R., DeCesar, M. E., Dolch, T., Ellis, J. A., Ferdman, R. D., Ferrara, E. C., Garver-Daniels, N., Gentile, P. A., Jones, M. L., Lam, M. T., Lorimer, D. R., Lynch, R. S., McLaughlin, M. A., Ng, C., Nice, D. J., Pennucci, T. T., Spiwak, R., Stairs, I. H., Stovall, K., Swiggum, J. K., & Zhu, W. W. (2020). Relativistic Shapiro delay measurements of an extremely massive millisecond pulsar. *Nature Astronomy*, 4, 72-76.
- Ekşi, K. Y., Andaç, İ. C., Çıkıntoğlu, S., Gençali, A. A., Güngör, C., & Öztekin, F. (2015). The ultraluminous X-ray source NuSTAR J095551+6940.8: a magnetar in a high-mass X-ray binary. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society: Letters*, 448(1), L40-L42.
- Erkut, M. H. (2005). *Accretion disks around magnetized neutron stars* (Thesis No. 170845) [Doctoral dissertation, Boğaziçi University]. Council of Higher Education Thesis Center.
- Erkut, M. H., & Alpar, M. A. (2004). On the rotational dynamics of magnetically threaded disks around neutron stars. *The Astrophysical Journal*, 617(1), 461-470.
- Erkut, M. H., & Çatmabacak, O. (2017). Parallel tracks as quasi-steady states for the magnetic boundary layers in neutron-star low-mass X-ray binaries. *The Astrophysical Journal*, 849(1), Article 58.
- Erkut, M. H., Ekşi, K. Y., & Alpar, M. A. (2019). Ultra-luminous X-ray sources as super-critical propellers. *The Astrophysical Journal*, 873(2), Article 105.
- Erkut, M. H., Türkoğlu, M. M., Ekşi, K. Y., & Alpar, M. A. (2020). On the magnetic fields, beaming fractions, and

- fastness parameters of pulsating ultraluminous X-ray sources. *The Astrophysical Journal*, 899(2), Article 97.
- Fürst, F., Walton, D. J., Harrison, F. A., Stern, D., Barret, D., Brightman, M., Fabian, A. C., Grefenstette, B., Madsen, K. K., Middleton, M. J., Miller, J. M., Pottschmidt, K., Ptak, A., Rana, V., & Webb, N. (2016). Discovery of coherent pulsations from the ultraluminous X-ray source NGC 7793 P13. *The Astrophysical Journal Letters*, 831(2), Article L14.
- Ghosh, P., & Lamb, F. K. (1979). Accretion by rotating magnetic neutron stars. II. Radial and vertical structure of the transition zone in disk accretion. *The Astrophysical Journal*, 232, 259-276.
- Israel, G. L., Belfiore, A., Stella, L., Esposito, P., Casella, P., De Luca, A., Marelli, M., Papitto, A., Perri, M., Puccetti, S., Rodríguez Castillo, G. A., Salvetti, D., Tiengo, A., Zampieri, L., D'Agostino, D., Greiner, J., Haberl, F., Novara, G., Salvaterra, R., Turolla, R., Watson, M., Wilms, J., & Wolter, A. (2017). An accreting pulsar with extreme properties drives an ultraluminous X-ray source in NGC 5907. *Science*, 355(6327), 817-819.
- Kaaret, P., Feng, H., & Roberts, T. P. (2017). Ultraluminous X-ray sources. *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 55(1), 303-341.
- Lattimer, J. M. (2019). Neutron star mass and radius measurements. *Universe*, 5(7), Article 159.
- Lattimer, J. M., & Schutz, B. F. (2005). Constraining the equation of state with moment of inertia measurements. *The Astrophysical Journal*, 629(2), 979-984.
- Paczynski, B. (1992). GB 790305 as a very strongly magnetized neutron star. *Acta Astronomica*, 42, 145-153.
- Rodríguez Castillo, G. A., Israel, G. L., Belfiore, A., Bernardini, F., Esposito, P., Pintore, F., De Luca, A., Papitto, A., Stella, L., Tiengo, A., Zampieri, L., Bachetti, M., Brightman, M., Casella, P., D'Agostino, D., Dall'Osso, S., Earnshaw, H. P., Fürst, F., Haberl, F., Harrison, F. A., Mapelli, M., Marelli, M., Middleton, M. J., Pinto, C., Roberts, T. P., Salvaterra, R., Turolla, R., Walton, D. J., & Wolter, A. (2020). Discovery of a 2.8 s pulsar in a 2 day orbit high-mass X-ray binary powering the ultraluminous X-ray source ULX-7 in M51. *The Astrophysical Journal*, 895(1), Article 60.
- Sathyaprakash, R., Roberts, T. P., Walton, D. J., Fuerst, F., Bachetti, M., Pinto, C., Alston, W. N., Earnshaw, H. P., Fabian, A. C., Middleton, M. J., & Soria, R. (2019). The discovery of weak coherent pulsations in the ultraluminous X-ray source NGC 1313 X-2. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society: Letters*, 488(1), L35-L40.
- Shakura, N. I., & Sunyaev, R. A. (1973). Black holes in binary systems. Observational appearance. *Astronomy & Astrophysics*, 24, 337-355.
- Staubert, R., Trümper, J., Kendziorra, E., Klochkov, D., Postnov, K., Kretschmar, P., Pottschmidt, K., Haberl, F., Rothschild, R. E., Santangelo, A., Wilms, J., Kreykenbohm, I., & Fürst, F. (2019). Cyclotron lines in highly magnetized neutron stars. *Astronomy & Astrophysics*, 622, Article A61.
- Walton, D. J., Bachetti, M., Fürst, F., Barret, D., Brightman, M., Fabian, A. C., Grefenstette, B. W., Harrison, F. A., Heida, M., Kennea, J., Kosec, P., Lau, R. M., Madsen, K. K., Middleton, M. J., Pinto, C., Steiner, J. F., & Webb, N. (2018). A potential cyclotron resonant scattering feature in the ultraluminous X-ray source pulsar NGC 300 ULX1 seen by NuSTAR and XMM-Newton. *The Astrophysical Journal Letters*, 857(1), Article L3.
- Wilson-Hodge, C. A., Malacaria, C., Jenke, P. A., Jaisawal, G. K., Kerr, M., Wolff, M. T., Arzoumanian, Z., Chakrabarty, D., Doty, J. P., Gendreau, K. C., Guillot, S., Ho, W. C. G., LaMarr, B., Markwardt, C. B., Özel, F., Prigozhin, G. Y., Ray, P. S., Ramos-Lerate, M., Remillard, R. A., Strohmayer, T. E., Vezie, M. L., Wood, K. S., & NICER Science Team (2018). NICER and Fermi GBM observations of the first galactic ultraluminous X-ray pulsar Swift J0243.6+6124. *The Astrophysical Journal*, 863(1), Article 9.



# Nano Titanyum Dioksit Eşliğinde Doğal Organik Maddenin Katalitik Ozonlanması

Alper Alver<sup>1\*</sup>, Emine Baştürk<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Aksaray Üniversitesi, Teknik Bilimler M.Y.O., Çevre Koruma Teknolojileri Bölümü, Aksaray, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-2734-8544), [alperalver@gmail.com](mailto:alperalver@gmail.com)

<sup>2</sup> Aksaray Üniversitesi, Teknik Bilimler M.Y.O., Çevre Koruma Teknolojileri Bölümü, Aksaray, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-1628-5026), [eminebasturk@hotmail.com](mailto:eminebasturk@hotmail.com)

(İlk Geliş Tarihi 24 Mayıs 2021 ve Kabul Tarihi: 15 Ağustos 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.941697)

**ATIF/REFERENCE:** Alver, A. & Baştürk, E. (2021). Nano Titanyum Dioksit Eşliğinde Doğal Organik Maddenin Katalitik Ozonlanması. *European Journal of Science and Technology*, (27), 82-88.

## Öz

Önemli bir bileşeni hümitik asitler (HA) olan sulardaki doğal organik maddeler (DOM) uğradıkları fiziksel, kimyasal ve biyolojik değişimler sonucunda arıtma tesislerinde çeşitli problemlere sebep olmaktadır. Konvansiyonel arıtım prosesleri bu bileşiklerin giderimde yetersiz kaldıkları için ileri arıtım prosesleri ile giderimleri hedeflenmektedir. Son yıllarda en dikkat çekici yöntemlerden biri de katalitik ozonlama prosesleridir. Bu çalışmada HA'nın ozonlama ile oksidasyonunda katalizör olarak nano boyutlu TiO<sub>2</sub> (nano-TiO<sub>2</sub>) kullanılmıştır. Katalizörün ozonlama prosesine katkısını belirlemek amacıyla gerçekleştirilen tekil ozonlama, tekil adsorpsiyon ve katalitik ozonlama deneylerinde organik madde konsantrasyonu ve fraksiyonlarındaki değişim çözünmüş organik karbon (ÇOK), UV<sub>254</sub> ve UV<sub>272</sub> parametreleri üzerinden takip edilmiştir. UV indekslerinin organik maddenin dezenfeksiyon yan ürünü oluşturma potansiyelinin bir göstergesi olduğu da bilinmektedir. Deneyler sonucunda, organik madde alifatik ve aromatik yapısını bozundurmada katalitik ozonlama prosesinin %95 üzerinde bir başarı ve %87 üzerinde ÇOK giderimi sağladığı görülmüştür. Tekil ozonlamanın ve tekil adsorpsiyonun ise HA yapısını bozundurmada kısıtlı kaldığı görülmüştür. Yalancı 1. Derece reaksiyon kinetikleri kıyaslandığında nano-TiO<sub>2</sub>/O<sub>3</sub> (0,4780 l/dk), tekil ozonlamadan (0,1773 l/dk) neredeyse üç kat, tekil adsorpsiyondan (0,1047 l/dk) neredeyse beş kat daha hızlı gerçekleştiği görülmüştür. Katalitik ozonlama proseslerinin doğal organik madde gideriminde oldukça etkin olduğu ve nano-TiO<sub>2</sub> katalizörünün serbest radikal oluşturmada başarılı olduğu sonucuna varılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Doğal organik madde, Katalitik ozonlanma, Titanyum dioksit, Oksidasyon, Alifatik, Aromatik.

## Catalytic Ozonation of Natural Organic Matter via Nano Titanium Dioxide

### Abstract

Natural organic substances (NOM) in water, an important component of which is humic acids (HA), cause various problems in treatment plants as a result of the physical, chemical and biological changes they undergo. Since conventional treatment processes are insufficient for the removal of these compounds, it is aimed to be removed by advanced treatment processes. One of the most striking methods in recent years is catalytic ozonation processes (cOP). In this study, nano-sized TiO<sub>2</sub> (nano-TiO<sub>2</sub>) was used as a catalyst in the oxidation of HA by ozonation. In the single ozonation, single adsorption and catalytic ozonation experiments performed to determine the contribution of the catalyst to the ozonation process, the change in organic matter concentration and fractions was followed by the dissolved organic carbon (DOC), UV<sub>254</sub> and UV<sub>272</sub> parameters. It is also known that UV indexes are an indicator of the formation potential of disinfection by-product form organic matter. As a result of the experiments, it was observed that the catalytic ozonation process achieved a performance above 95% and a DOC removal over 87% in degrading the aliphatic and aromatic structure of organic matter. It has been observed that single ozonation and single adsorption are limited in degrading the HA structure. Comparing pseudo-first order reaction kinetics nano-TiO<sub>2</sub>/O<sub>3</sub> (0.4780 l/min) is almost three times faster than single ozonation (0.1773 l/min) and almost five times faster than single adsorption (0.1047 l/min) It has been observed to occur. It was concluded that catalytic ozonation processes are highly effective in NOM removal and nano-TiO<sub>2</sub> catalyst is successful in generating free radicals.

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

**Keywords:** Natural Organic Matter, Catalytic Ozonation, Titanium dioxide, Oxidation, Aliphatic, Aromatic.

## 1. Giriş

Yüzeysel suları temel içme suyu kaynaklarından biridir ve bu nedenle arıtılmaları tüm dünyada birçok çalışmanın konusu olmuştur. Tüm yüzeysel su kirleticileri içerisinde en çok dikkat organik maddelere verilmektedir (Rucka ve ark., 2019). Doğal organik madde, doğal sulardaki organik karbonun ana kaynaklarından biridir. Doğal sularda bulunan çözünmüş organik madde tipik olarak biyogenik, polielektrolitik organik moleküller ve polimerlerden oluşmaktadır (Weber ve ark., 2018). Hüyük ve fulvik asitler hem tatlı su hemde deniz ortamlarında bulunan toplam DOM'un yaklaşık %25-50'sini oluşturan geriye kalan kısımlar esas olarak proteinler, polisakaritler, hidrofilik organik asitlerden oluşmaktadır. Hem alloktan hemde otokton kaynaklardan üretilen bu organik maddeler çeşitli çevresel ve jeokimyasal dönüşümleri önemli ölçüde etkileyebilmektedir (Waterson Canuel, 2008). DOM'un varlığı, (1) bozunma süreçlerinde ve tanılarında önemli bir rol oynamaktadır, (2) metal kompleksleri oluşturmakta ve bunların doğal sulardaki çözünürlüğünü değiştirmektedir, (3) n-alkanlar, polinükleer aromatik bileşikler ve pestisitler gibi kısmi çözünür elektrolitik olmayan organik çözücülerini bağlamaktadır, (4) yüzey sularındaki fotokimyasal reaksiyonları hassaslaştırmaktadır ve (5) kolloidleri stabilize etmektedir (Grasso ve ark., 1990). Bu nedenle doğal su kaynaklarında DOM'un varlığı su arıtma süreçlerinde geniş kapsamlı sorunlara neden olmaktadır.

DOM hüyük ve hüyük olmayan maddelere ayrılabilir. Hüyük maddeler DOM'un %90'ı kadar büyük bir bölümünü temsil eder ve dezenfeksiyon yan ürünü (DYÜ) öncülleri olduklarına inanılmaktadır. Hüyük maddeler organik maddenin ayrışmaya uğradığı her ortamda bulunmaktadır. Sucul ortamdaki hüyük maddelerin iki ana fraksiyonu vardır: doğal sulardan uygun şekilde izole edilen hüyük asit (HA) ve fulvik asit. Karmaşık yapıları olarak tanımlanan hüyük maddeler, alifatik yan zincirlere sahip aromatik halka yapılarından, özellikle oksijen içeren fonksiyonel gruplardan, oksijen veya nitrojenden oluşan "köprü" birimlerinden ve ilgili karbonhidrat veya peptit fragmanlarından oluşmaktadır (Kulovaara ve ark., 1996). Hüyük asidin ortalama moleküler ağırlığı, fulvik asitinkinden daha fazladır (Thurman, 2012). Doğal organik maddenin UV<sub>254</sub> ve UV<sub>272</sub> dalga boyundaki absorbans değerleri ve absorbans eğimi indeksleri gibi bir dizi UV indeksinin toplam organik halojenler (TOX), trihalometanlar (THM'ler), haloasetik asitler (HAA'lar) ve diğer DYÜ'ler ile iyi korelasyona sahip olduğuna dair birçok literatür çalışması bulunmaktadır (Li ve ark., 2016). Wolska ve ark. (2018) yaptığı çalışmayla benzer olarak, bu çalışmada da UV indeksleri DYÜ'lerin bir göstergesi olarak da kullanılmıştır.

Konvansiyonel arıtma prosesleri organik maddenin yaklaşık %30'unu giderebilmektedir (Alver, 2019). Bu nedenle verimli bir şekilde DOM giderimi için ileri arıtım yöntemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Sucul ortamdaki organik kirleticilerin parçalanmasında, ileri oksidasyon prosesleri (İOP) başarılı sonuçlarıyla ön plana çıkmaktadır. İOP'lerinden katalitik ozonlama prosesi yaygın olarak kullanılmaktadır.

Ozonlama prosesleri, su ve atık su arıtma alanlarında yüksek oksidasyon ve dezenfeksiyon potansiyeli nedeniyle birçok farklı amaç için yaygın olarak kullanılmaktadır (Zhang ve ark., 2009). Tekil ozonlama proseslerinin, bazı organik bileşiklerle yavaş reaksiyona girmesi, suda nispeten düşük çözünürlükte olması ve doğal organik madde gibi inatçı organik bileşiklerini son ürüne kadar okside edememesi gibi dezavantajları vardır (Faria ve ark.,

2009). Bu dezavantajların üstesinden gelmek için, son yıllarda katalitik ozonlama olarak bilinen homojen veya heterojen bir katalizör ile ozonun birlikte kullanıldığı kombinasyonlar araştırılmıştır. Gelecek vaat eden İOP'lerden heterojen katalitik ozonlama, su ve atık su ile ilgili araştırmalarda büyük ilgi görmüştür (Argun ve ark., 2017). Heterojen katalitik ozonlamanın amacı ozonun hidroksil radikallerine dönüşümü yoluyla aromatik fraksiyonu fazla dirençli bileşiklerin oksidasyonunu sağlamaktır. Ayrıca heterojen katalitik ozonlamada kullanılan katalizörün reaksiyon ortamından katalitik geri kazanım kolaylığıda mevcuttur. Literatürde sulardan dirençli organik maddeleri gidermek için ozonlama ile birlikte kullanılmak üzere birçok metal oksit türevi katalizör test edilmiştir.

Son otuz yılda titanyum dioksit (TiO<sub>2</sub>) çevresel arıtma uygulamalarında gelecek vaat eden bir katalizör olarak ortaya çıkmıştır. TiO<sub>2</sub> bazlı fotokatalizörlerin ışık etkinliği ile aktif oksijen üreten oksidasyon reaksiyonları vasıtasıyla (örn., OH radikalleri, hidrojen peroksit, süper oksit anyonları) mikro ve makro ölçekli birçok kirleticiyi verimli bir şekilde bozundurduğu görülmüştür. TiO<sub>2</sub>'nin bu doğal özelliğinden yararlanılarak kendi kendini temizleyen malzemeler, antibakteriyel ve antifungal malzemeler, hava ve su arıtma sistemleri vb. geliştirilmiştir (Alver Basturk, 2019). Hem ticari (anataz, rutil, P25) ölçekli hemde laboratuvar ölçekli sentezlenen TiO<sub>2</sub> malzemeleri kirletici içeren sucul çözeltiler içerisinde süspansiyon edilen toz formunda kullanılmaktadır. Bu uygulama genellikle TiO<sub>2</sub> fotokatalistinin sucul ortamdan zahmetli bir şekilde geri kazanılmasına ve geri dönüştürülmesine yol açmaktadır. Bu nedenle TiO<sub>2</sub> için seramik, cam veya fiber gibi katı destek malzemelerinin kullanılması umut verici bir çözümdür (Alver Basturk, 2019).

Bu nedenlerle bu çalışmada nano ölçekli TiO<sub>2</sub>, sucul ortamdan DOM'ları gidermek için ozonlama işlemlerinde bir katalizör olarak kullanılmıştır. Bu çalışmanın temel amacı, katalitik ozonlamada nano-TiO<sub>2</sub> kullanılarak sucul ortamlarda İOP tabanlı bir DOM giderim prosesi geliştirmek ve araştırmaktır. Katalitik ozonlama işleminde nano-TiO<sub>2</sub>'nin katalitik etkisi katalitik ozonlama prosesinin HA giderimindeki etkinliği tekil ozonlama ve tekil nano-TiO<sub>2</sub> adsorpsiyon prosesleri ile kıyaslanarak incelenmiştir. Ayrıca nano-TiO<sub>2</sub>'nin DOM bozunması üzerine etkilerini belirlemek için bozunma kinetikleri de araştırılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Hüyük Asit Çözeltilerinin Hazırlanması ve Karakterizasyonu

Çalışmalarda yüzey su kaynaklarında bulunan doğal organik maddeleri temsil etmesi amacıyla hüyük asit çözeltileri kullanılmıştır. Ticari hüyük asit (H16752) Sigma-Aldrich firmasından satın alınmıştır. Stok çözeltiler, ultrasaf suya belirli miktarlarda Aldrich hüyük asiti ilave edilerek ve çözünmeyi kolaylaştırmak için 1.0 N NaOH ile pH 11'e yükseltılarak hazırlanmıştır. Bir saatlik karıştırma işleminden sonra, 1.0 N HCl ile pH yeniden 7'ye ayarlanmış ve çözünmemiş süspansiyon halinde kalan fraksiyonları uzaklaştırmak için çözelti önceden yıkanmış 0,45 µm cam elyaf filtreden (Millipore) geçirilmiştir. Stok çözelti konsantrasyonları, çözünmüş organik karbon analizi yapılarak belirlenmiştir. Arıtım çalışmaları yüzey sularını temsil eden 5 mg/L konsantrasyonundaki hüyük asit çözeltileri ile gerçekleştirilmiştir. HA stok çözeltileri, karanlık ortamda 4 °C ayarlanmış bir buzdolabında saklanmıştır. Model çözelti olarak kullanılan Sigma Aldrich hüyük asitinin karakterizasyonu Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Humik asit çözeltilerinin karakterizasyonu

Parametre	Denklem (n=4)	R <sup>2</sup>	Tespit Limiti
UV <sub>254</sub> , Abs.	0,0235 x HA + 0,0209	0,9995	0,0015
UV <sub>272</sub> , Abs.	0,0211 x HA + 0,0191	0,9994	0,0018
ÇOK, mg/L	0,2089 x HA - 0,0608	0,9984	0,0048

## 2.2. Nano Titanyum Dioksit Katalizörü

Nano ölçekli titanyum dioksit tozu (Ege Nanotek Kimya San.) %99 saflıkta katalizör süspansiyonlarını hazırlamak için kullanılmıştır. nano-TiO<sub>2</sub>'nin üreticiye göre özgül yüzey alanı 200 m<sup>2</sup>/g, gerçek yoğunluğu 4,23 g/cm<sup>3</sup> ve ortalama partikül boyutu 10 nm'dir. nano-TiO<sub>2</sub> tozu, analitik hassas terazi kullanılarak tartılmış ve istenilen nano-TiO<sub>2</sub> konsantrasyonunu elde etmek için çözeltide süspansiyon edilmiştir. nano-TiO<sub>2</sub> parçacıklarını çözeltide dağıtmak ve homojen bir süspansiyon elde etmek için deneylerde mekanik karıştırma işlemi uygulanmıştır.

## 2.3. Deneysel Prosedür

Deneysel çalışmaların tamamı oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. nano-TiO<sub>2</sub>'de NOM adsorpsiyonu deneyleri katalitik ozonlama deneylerinde kullanılan 1 L çözelti hacimli UV korumalı cam reaktör içerisinde 120 devirde çalıştırılan mekanik karıştırıcı ile gerçekleştirilmiştir. Adsorpsiyon deneyleri nötral pH aralığında 5 mg/L HA ve 50 mg/L nano-TiO<sub>2</sub> kullanılarak kesikli olarak yürütülmüştür. Deneyler sırasında reaktörden alınan toplam örnek hacminin reaktör hacminin %5'inden fazla olmamasına özen gösterilmiştir. Alınan örnekler, adsorbentten çözeltiden ayrılması için 0,45 µm cam elyaf filtreden geçirilmiş ve ÇOK, UV<sub>254</sub> ile UV<sub>272</sub> analizleri gerçekleştirilmiştir. Adsorpsiyon miktarı (q) ve adsorpsiyon verimliliği sırasıyla Denklem 1 ve Denklem 2'ye göre hesaplanmıştır.

$$q \text{ (mg/g)} = \frac{(C_{giriş} - C_{denge}) \times V}{M} \quad \text{Denklem 1}$$

$$\text{Ads. (\%)} = \frac{(C_{giriş} - C_{denge})}{C_{giriş}} \times 100 \quad \text{Denklem 2}$$

$C_{giriş}$  HA'nın başlangıç konsantrasyonu ve  $C_{denge}$  HA'nın incelenen süredeki kalan konsantrasyonu,  $V$  çözeltinin hacmi ve  $M$  ise adsorbentin kütle miktarıdır.

Ozonlama deneyleri 1 L çözelti hacimli silindirik UV korumalı cam reaktörde gerçekleştirilmiştir. Oksijen konsantratörü donanımlı ve 0.333 g/dk ozon üretim kapasitesine sahip PRO DO 20 ozon jeneratörü (PRODA Group, Türkiye), teflon borular ile cam reaktöre bağlanmıştır. Ayrıca, tüm deney düzeneği bağlantıları ozonla reaksiyona girmeyen malzemelerden seçilmiştir. Kesikli olarak işletilen reaktörün tam karışımı 120 rpm'de dönen mekanik bir karıştırıcı ile sağlanmıştır. Ozonun sudaki çözünürlüğünü artırmak ve istenilen konsantrasyonlarda çözünmüş ozon elde etmek için ozon beslemesi reaktörün alt kısmından ve politetrafloroetilen (PTFE) malzemeden üretilmiş difüzör vasıtasıyla gerçekleştirilmiştir. Reaktörden çözünmeden çıkan gaz fazındaki ozonun tutulması için reaktörü takip eden ve içinde %2'lik KI çözeltisi bulunan 2 adet gaz yıkama şişesi kullanılmıştır. Reaktöre istenilen konsantrasyonlarda humik çözeltisi ilave edildikten sonra belirli zaman aralıklarında örnekler alınmış ve analizleri yapılmıştır. Analizlerden önce ozon reaksiyonlarını durdurmak amacıyla, alınan örneklere 0.025 M Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> ilave edilmiş ve 0.45 µm'lik cam elyaf filtreden

süzülmüştür. Elde edilen filtratta çözünmüş ozon, ÇOK, UV<sub>254</sub>, UV<sub>272</sub> ve SEM/EDS analizleri yapılmıştır.

## 2.4. Analiz Yöntemleri

Spektroskopik ölçümler, Shimadzu UV-1280 marka UV-VIS spektrofotometre ile SM 5910 B (Alver ve ark., 2021) metoduna uygun olarak gerçekleştirilmiştir. HA'nın kimyasal yapısının incelenmesi için takip edilen spesifik karbon bazlı UV-VIS parametreleri UV<sub>254</sub> ve UV<sub>272</sub>'dir. Doğal organik maddeler genel olarak hidrofobik özelliktedir. Doğal organik maddelerin oksidantlarla reaksiyonları sonucunda hidrofilik fraksiyonların da artış olmaktadır. UV<sub>254</sub> değerinin humik maddeler gibi yüksek moleküler ağırlığına sahip organik maddelerin hidrofobikliğinin ve alifatik içeriğinin tespitinde kullanılan önemli bir temsil edici parametre olduğu ortaya konulmuştur (Alver Kılıç, 2021). Bunun yanında UV<sub>272</sub> değeri, DOM molekülü ile klor arasındaki reaksiyonlar sırasında fenolik ve hidroksil gibi fonksiyonel gruplar içeren aromatik yapıların bozulmasına karşılık DOM'un UV absorbansında meydana gelen kayıpları göstermektedir (Alver Kılıç, 2021).

Çözünmüş organik karbon analizleri Shimadzu TOC-VCPN/TNM-1 cihazı kullanılarak Standart Metotlar 3510 B'de tanımlanan yüksek sıcaklıkta yakma metoduna göre gerçekleştirilmiştir (Alver Kılıç, 2018). ÇOK analizleri numuneler 0,45 µm'lik filtreden süzülükten sonra gerçekleştirilmiştir.

Çözünmüş ozon analizleri JUMO AQUIS 500 AS ozon analizörü (JUMO Corp. Group, Almanya) ile ASTM D7677 metoduna (International, 2004) uygun olarak sürekli izleme yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Bu yöntemle yapılan ozon analizleri reaktörden eş zamanlı alınan örneklerde SM 4500-O<sub>3</sub> B İndigo metoduna göre ozon analizleri yapılarak doğrulanmıştır. Sucul ortamda çözünmüş ozon ölçümlerinde kullanılan potasyum indigo trisülfonat Sigma-Aldrich firmasından temin edilmiştir.

Katalizörün karakterizasyonu için SEM ve EDS analizleri, numunelerde altın kaplama işlemi yapılarak FEI marka Quanta FEG 250 model cihaz ile gerçekleştirilmiştir. Farklı büyütmeye oranlarda en net görüntü elde edilene kadar taramalar devam ettirilmiştir.

Deneysel çalışmaların tüm aşamalarında ACS saflıkta kimyasallar kullanılmıştır. İletkenlik değeri 18,2 MΩ-cm civarı olan ve ÇOK konsantrasyonu 0,02 mg/L'den küçük olan ultra saf su, tüm solüsyonların ve partikül süspansiyonlarının hazırlanmasında kullanılmıştır.

## 2.5. Kinetik Çalışma

Bu çalışmada DOM giderimi için temas süresini, optimum q miktarını ve giderim mekanizmasını araştırmak için çeşitli kinetik modeller (yalancı 1. ve yalancı 2. derece) uygulanmıştır. Yalancı birinci derece kinetik denklemi ilk olarak Lagergren (1898) tarafından tanıtılmıştır ve literatürde, yalancı birinci ve ikinci derece kinetiklerin formülleri genellikle Ho ve McKay tarafından önerilen lineer formunda kullanılmaktadır (Simonin, 2016) (Tablo 2).

Tablo 2. Kinetik modeller

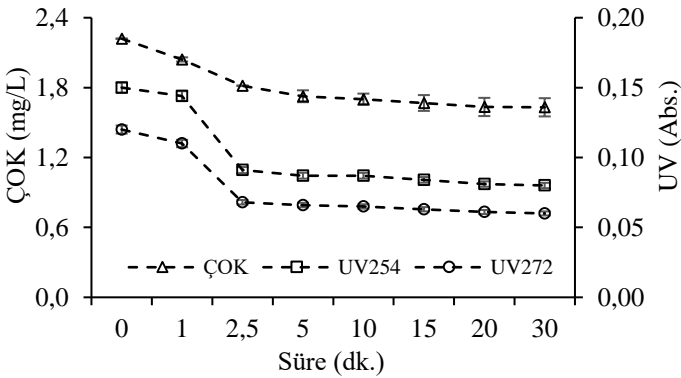
Kinetik model	Lineer olmayan formu	Lineer formu	Grafik	Eğim ve kesim
Yalancı 1	$q_t = q_e(1 - e^{-k_1 t})$	$\ln(q_e - q_t) = \ln(q_e) - k_1 t$	$\ln(q_e - q_t)$ vs. $t$	Eğim: $-k_1$ , Kesim: $\ln q_e$
Yalancı 2	$q_t = \frac{q_e^2 k_2 t}{1 + q_e k_2 t}$	$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{t}{q_e}$	$\frac{t}{q_t}$ vs. $t$	Eğim: $\frac{1}{q_e}$ , Kesim: $\frac{1}{k_2 q_e^2}$

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Bu bölümde, doğal organik maddenin tekil ozonlaması, tekil adsorpsiyonu ve katalitik ozonlanması sonrasında sucul ortamdan giderim oranları ve yapısal değişiminin belirlenmesi için laboratuvar ölçekli çalışma gerçekleştirilmiştir. İleri arıtım yöntemlerinin doğal organik maddenin alifatik ve aromatik yapısında oluşturduğu değişimi anlamak için model çözeltilerle çalışmalar yapılmıştır. Ayrıca katalitik ozonlamada katalizör olarak kullanılan nano-TiO<sub>2</sub>'nin katalitik etkisi tekil ozonlama, tekil adsorpsiyon ve katalitik ozonlamadaki DOM giderim hızları kıyaslanarak ortaya konulmaya çalışılmıştır.

#### 3.1. Tekil Ozonlama ile DOM Giderimi

Katalitik ozonlama proseslerinde ozonun kirlenici ile reaksiyonları 2 yolla gerçekleşmektedir; doğrudan ve dolaylı serbest radikal reaksiyonları (Mathon ve ark., 2021). Ozonun doğrudan kirlenici ile reaksiyona girmesi sucul ortamda hızla tükenmesine ve dolaylı yollarla yani radikallere dönüştükten sonra kirlenici ile reaksiyona girmesine göre daha az verimli olmaktadır. Bu sebeple katalitik ozonlamanın etkinliğinin belirlenebilmesi için tekil ozonlama deneyleri önem arz etmektedir. DOM'un bozunma verimini etkileyen önemli faktörlerden biri de ozonlama proseslerinde uygulanan ozon dozudur. Bu başlık altında 10 mg/L başlangıç ozon dozunun 5 mg/L HA'nın bozunma sürecine etkisi nötr pH'ta incelenmiş ve Şekil 1'de gösterilmiştir.



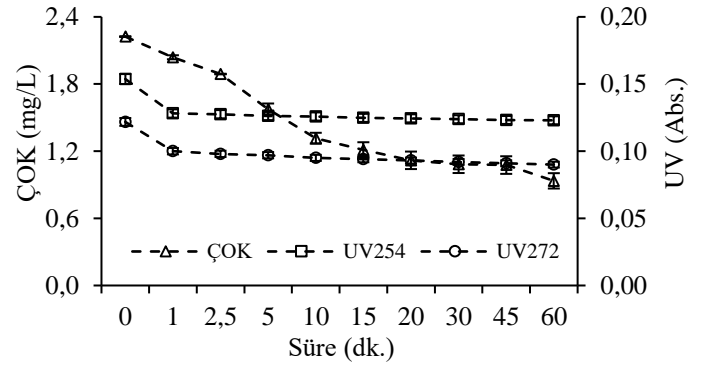
Şekil 1. Tekil ozonlama ile DOM giderimi ( $[O_3] = 10 \text{ mg/L}$ ,  $[HA] = 5 \text{ mg/L}$ ,  $pH = 7,1 \pm 0,2$ )

Ozonun sucul ortamda bozunmaya başlama süreciyle birlikte HA ile reaksiyonları başlamıştır. 10 mg/L başlangıç ozon dozunun 30 dk süre sonrasında HA'nın bozunmasına ÇOK parametresine göre %24,86'lık etkisi olmuştur. Literatürde HA'nın ozon uygulanarak bozundurulması, Tablo 3'te görülebileceği gibi, Yalancı 1. Derece kinetik modellerle tanımlanmaktadır ve reaksiyon hızı Miao ve Tao (2008)'nin çalışmasına benzer olarak 0,1773 1/dk hesaplanmıştır. Deneysel şartlar içerisinde tekil ozonlamanın

HA'nın alifatik ve aromatik yapısında ortalama %45 oranında değişikliğe sebep olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuç hem ozonlamanın kromoforların bölünmesine yol açtığını hem de ozonlama işleminin HA'nın moleküler yapılarını parçalayabileceğini veya yeniden düzenleyebileceğini ve biyolojik olarak parçalanamayan organikleri biyolojik olarak parçalanabilir formlara dönüştürebileceğini göstermektedir. Alifatik ve aromatik yapısal değişiminin ÇOK değişimi ile benzer eğilim gösterdiği görülmektedir. Çehovin ve ark. (2017) yaptıkları çalışmada, 0,3-1,8 J/cm<sup>2</sup> UV ışını ve 4-12 mg/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> kullanmışlar ve %5-15 ÇOK giderimi elde etmişler. Ayrıca daha yüksek ÇOK giderimi için çok yüksek H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> dozlarının kullanılması gerektiği fakat bununda THMOP arttırdığı sonucuna varmışlardır. Bir başka çalışmada ise bromür içeren sulara DOM giderimi için O<sub>3</sub> ile birlikte H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> kullanımının THMOP ve HAAOP arttırdığı raporlanmıştır (Wang ve ark., 2013).

#### 3.2. Tekil Adsorpsiyon ile DOM Giderimi

Tekil adsorpsiyon deneyleri, UV korumalı cam reaktör içerisinde 50 mg/L nano-TiO<sub>2</sub> sorbent dozunda, 5 mg/L'lik HA konsantrasyonu ve çözelti pH'ı 7,2'de sabit tutularak 60 dk boyunca gerçekleştirilmiştir. Temas süresi artışına bağlı olarak organik maddenin ÇOK konsantrasyonundaki ve aromatik ve alifatik fraksiyonlarındaki değişimi Şekil 2'de gösterilmiştir.



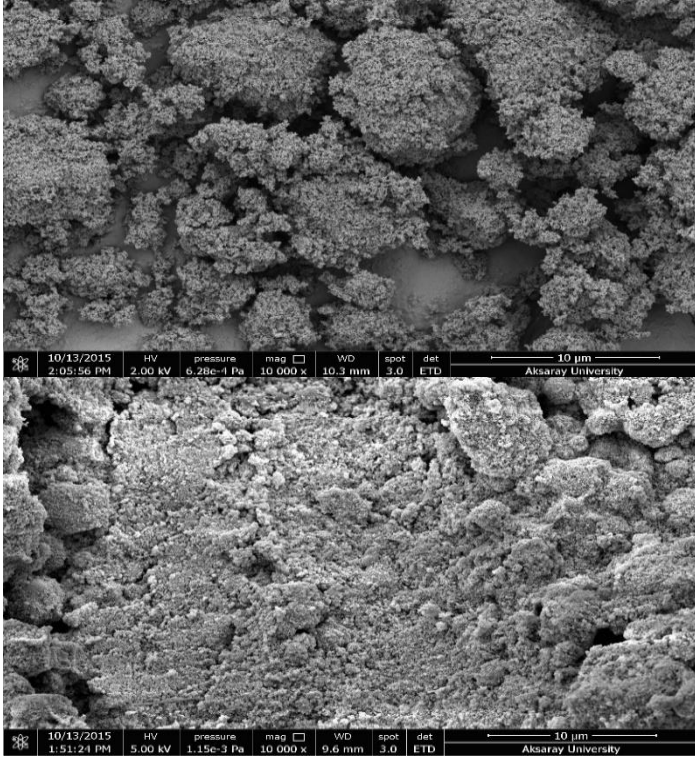
Şekil 2. nano-TiO<sub>2</sub> adsorpsiyonu ile DOM giderimi ( $[nano-TiO_2] = 50 \text{ mg/L}$ ,  $[HA] = 5 \text{ mg/L}$ ,  $pH = 7,2 \pm 0,2$ ,  $n = 120 \text{ devir}$ )

Şekil 2'de görüldüğü gibi süre artışına bağlı olarak nano-TiO<sub>2</sub> yüzeyinde HA'nın adsorpsiyonu ÇOK göstergesine göre %45,50'ye kadar yükseliş göstermektedir ve maksimum adsorpsiyon kapasitesi ise 45,50 mg/g olarak hesaplanmıştır. Literatürde HA giderimi için MWCNT, MWCNT-OH, MWCNT-COOH, GO ve TiO<sub>2</sub> gibi adsorbentlerin kullanıldığı çalışmalarda adsorpsiyon kapasitesi 0,57-36,7 mg/g aralığında bulunmuştur (Ly ve ark., 2020). Bu sonuç, Tablo 3'te belirtildiği gibi adsorpsiyonun gerçekleşme hızının 0,1047 1/dk olması gerekçesiyle yavaş ilerlediğini ve hümik asidin adsorpsiyonu için nano-TiO<sub>2</sub> yüzeyindeki mevcut aktif bölgeler ile fonksiyonel hümik asit grupları arasındaki iyon ve/veya proton alışverişinin gerçekleştiğini göstermektedir. Ayrıca, hümik asit adsorpsiyon



hızının yavaş olmasının olası bir nedeni de nano boyutlu adsorbanın çok fazla adsorpsiyon aktif bölgesi sağlamış olabilesidir; adsorpsiyon işlemi devam ederken hümik asit konsantrasyonundaki azalma adsorbanın kimyasal adsorpsiyon performansını engellemiş olabileceği düşünülmektedir (Kim ve ark., 2013). Böylelikle zaman içerisinde adsorpsiyon hızı azalsa da hümik asidin giderim verimliliği artmaktadır. nano-TiO<sub>2</sub> yüzeyinden adsorplanmasına bağlı olarak sucul ortamdan hümik asitin alifatik ve aromatik fraksiyonlarının ortalama %20 civarında azaldığı görülmektedir. Adsorpsiyon prosesinin HA'yı bozundurmaktan daha çok sucul fazdan ayırmasını sağlayan bir proses olduğu görülmektedir. Adsorpsiyon prosesinde ara ürünler kısıtlı olarak oluştuğu için özellikle oksidasyonu sonucu çok fazla ara ürün oluşan kirleticilerin gideriminde etkin olarak kullanılabileceği düşünülmektedir.

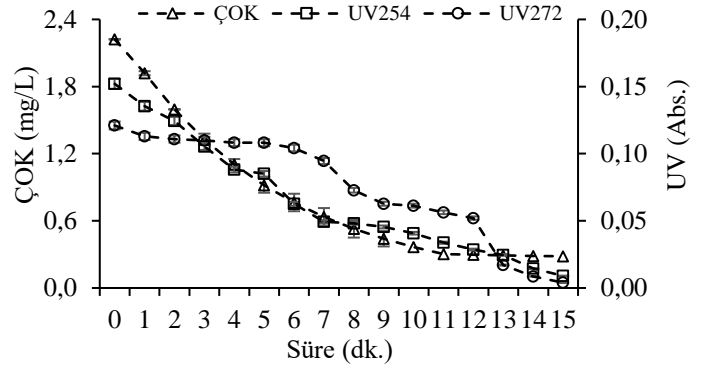
Şekil 3'te nano-TiO<sub>2</sub> yüzeyinde adsorbe olan hümik asidin SEM fotoğrafları verilmiştir. nano-TiO<sub>2</sub> yüzey morfolojisindeki değişim açıklıkla görülmektedir. EDS analizlerinde, HA adsorpsiyonun bir göstergesi olan karbonun atomik yüzdesi ham nano-TiO<sub>2</sub>'de %12,07 iken adsorpsiyon sonrasında %47,20'ye yükseldiği görülmektedir.



Şekil 3. nano-TiO<sub>2</sub> yüzeyinde HA'nın adsorpsiyonu; (1) ham nano-TiO<sub>2</sub> ve (2) HA adsorpsiyonu sonrası

### 3.3. Katalitik Ozonlama ile DOM Giderimi

Katalitik ozonlama proseslerinin DOM giderim verimini etkileyen en önemli değişkenlerden biri kirletici konsantrasyonu ve karakterizasyonudur. Bu başlıkta, yüzeysel su kaynaklarında bulunabilen konsantrasyonda doğal organik maddenin katalitik ozonlama ile giderimi araştırılmıştır. Temas süresi artışına bağlı olarak ÇOK ve UV indekslerindeki değişim Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. Katalitik ozonlama ile DOM giderimi ([nano-TiO<sub>2</sub>]= 50 mg/L, [O<sub>3</sub>]= 10 mg/L, [HA]= 5 mg/L, pH= 7,2±0,2, n= 120 devir)

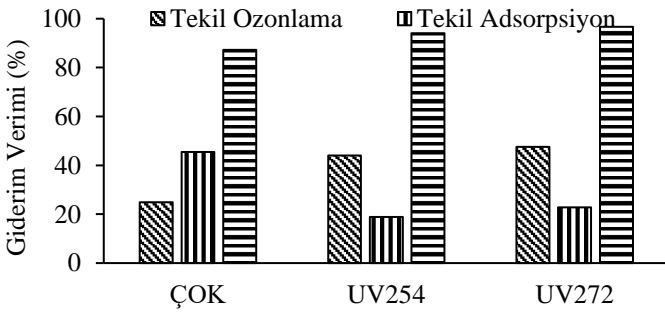
Şekil 4'te görüldüğü gibi katalitik ozonlama sırasında HA'nın aromatik ve alifatik yapısındaki değişim ortalama %95'dir. HA yapısında bulunan Aromatikler, olefinler, aminler gibi doymamış gruplar ve diğer özel gruplar, moleküler ozon ve/veya serbest radikaller tarafından oksitlenmektedir. Daha önce yaptığımız çalışmalara benzer olarak katalitik ozonlamada oluşan serbest radikallerin bir dizi küçük moleküler uçucu yan ürünün ortaya çıkmasına neden olan çift bağları kopardığı, aromatik halkaları açtığı ve alkil gruplarını oksitlediği düşünülmektedir (Alver ve ark., 2020). Serbest radikaller ile reaksiyona girmesi sonucunda organik madde bozularak ara ürünlere ve son ürüne (CO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>O) dönüşmekte ve son ürüne kadar okside olan organik madde oranında ÇOK konsantrasyonlarında azalma sağlanmaktadır. Katalitik ozonlama sırasında oluşan serbest radikallerin, oksidasyonu yavaş olan HA ve oksidasyon ara ürünlerini tekil ozonlamaya göre daha hızlı bozundurduğu görülmektedir. Ayrıca, son ürüne dönüşmeyen ozonlanmış organik madde yapısının önemli bir kısmının hidrofobik ve alifatik yapıda -biyolojik olarak parçalanabilir- olduğu düşünülmektedir. Ozonlama sırasında ortam pH'sı bir miktar düşüş göstermekte (pH 6,6) ve asidik gruplar oluşmaktadır. Bu gruplar Leitner ve Fu (2005) tarafından yapılan çalışmada da belirtildiği gibi HA molekülleri üzerinde oluşan ya da oksidasyon sonucunda HA moleküllerinden ayrılan asidik bileşikler olabilir.

Reaksiyon süresindeki artışla ÇOK konsantrasyonu %87 üzerinde azalmaktadır. Bu nedenle, organik maddenin alifatik ve aromatik fraksiyonlarının bağ yapısının bozundurulması için 0,050 g/L katalizör dozu uygun bulunmuştur. Katalitik ozonlama deneylerinde reaksiyonlarının ara yüzeyde gerçekleşmesi istenilmektedir. Aksi halde, katalizör yüzeyindeki aktif bölgelerin HA tarafından dolması sonucunda HA kütle transfer kuvveti azalmakta ve katalizör yüzeyinde ozonun radikallere dönüşmesi için gerekli alan da kısıtlanmaktadır diğer bir deyişle kütle transfer hızı yavaşlayacaktır. Bu çalışmada olduğu gibi ara yüzey reaksiyonlarında ise hem ozon hem de kirleticinin adsorplanması için yeterli alan bulunmaktadır. Bu sayede ozon hızla radikallere dönüşmekte ve oluşan radikaller katalizör yüzeyindeki ve çözüldükte HA ile hızlıca reaksiyona girebilmektedir. Katalizör yüzeyindeki aktif bölgelerde bu yolla sürekli olarak yenilemekte ve katalizör yüzeyinin kısıtlayıcı etkisi ortadan kalkmaktadır. Katalitik ozonlama deneylerinde elde edilen Yalancı 1. Derece kinetiğe uygun reaksiyon hızı 0,4780 1/dk'dır ve doğrudan radikal oluşum hızıyla bağlantılıdır.

### 3.4. Katalitik Aktivite ve Reaksiyon Kinetiklerinin Değerlendirilmesi

Katalitik ozonlama prosesinin, tekil ozonlama ve tekil adsorpsiyona kıyasla HA giderimindeki etkinliği ÇOK ve UV indeksleri üzerinden takip edilmiş ve Şekil 5'te gösterilmiştir. Tekil adsorpsiyon ve tekil ozonlama deneylerindeki reaksiyon süresi katalitik ozonlama ile aynı (15 dk.) seçilerek hesaplamalar yapılmıştır.

Heterojen katalitik ozonlama sırasında ÇOK bozunma hızı, kimyasal kinetik model kullanılarak makul bir şekilde tahmin edilebilmektedir. Pek çok kirleticinin giderimi için uygulanacak O<sub>3</sub> ve OH• oranları halihazırda bilinirken ve O<sub>3</sub> ve OH• temas süresinin belirlenmesi uygulanan arıtım esnasında kirletici giderimi verimliliğinin ve kinetiklerinin takip edilmesini gerektirmektedir (Guo ve ark., 2019; Von Sonntag Von Gunten, 2012). Bu çalışmada HA gideriminde uygulanan her bir proses için ayrı ayrı reaksiyon kinetiği hesaplanmış ve Tablo 3'te farklı arıtım proseslerine uygulanan kinetik modellerin R<sup>2</sup> ve kinetik parametreleri sunulmuştur.



Şekil 5. Katalitik ozonlama prosesinin tekil adsorpsiyon ve tekil ozonlama ile kıyaslanması ( $t = 15$  dk.,  $[ÇOK] = 2,222$  mg/L,  $[UV_{254}] = 0,152$  Abs.,  $[UV_{272}] = 0,121$  Abs.)

Şekil 5'te, HA gideriminde katalitik ozonlama prosesinin tekil ozonlama ve tekil adsorpsiyonuna göre etkinliği açıkça görülmektedir. ÇOK giderim verimleri tekil adsorpsiyon, tekil ozonlama ve katalitik ozonlama sırasıyla %24, %45 ve %87'tir. Giderim verimliliklerine benzer olarak UV indekslerindeki azalış da aynı eğilimi göstermektedir. HA'nın nano-TiO<sub>2</sub> üzerindeki adsorpsiyonu, genellikle TiO<sub>2</sub>, MnO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve grafen oksit vb. birçok katalizör gibi katalitik ozonlamada kirleticilerin giderimine kısıtlı olarak katkıda bulunur (İkhlak ve ark., 2015; Li ve ark., 2014; Wang ve ark., 2016; Xu ve ark., 2016; Zhao ve ark., 2014). Katalitik ozonlamada katalizörün asıl görevi, kirletici ile ozonu adsorbe edebilecek aktif sitelere sahip İması ve ara yüzey reaksiyonlarının oluşumunu sağlamasıdır. ÇOK giderim verimliliği artışına bağlı olarak ara yüzey reaksiyonlarının oluştuğu düşünülmektedir.

Tablo 3'te sunulan Yalancı 1. Derece reaksiyon hızları (k) karşılaştırıldığında, katalitik ozonlamada tekil ozonlamaya nazaran belirgin bir artış olduğu görülmektedir. Bu sonuç tekil ozonlamada oluşan reaksiyon mekanizmasına ilaveten daha fazla serbest radikal oluştuğu ve serbest radikallerin hem kirletici hem de ozonla reaksiyonlarının daha hızlı gerçekleştiğini göstermektedir. Nano-TiO<sub>2</sub> katalizörü ozondan hidroksil radikali oluşma verimliliğini 4,565 (0,4780/0,1047) kat yükseltmektedir. Nano-TiO<sub>2</sub>'nin ozonlamaya katkısı, literatürde daha önce HA'nın katalitik ozonlama ile giderimi üzerine çalışılan  $\alpha$ -Al<sub>2</sub> (2,298) ve

Mn<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (1,562) gibi katalizörlerinkinden daha yüksektir (Salla ve ark., 2020).

Tablo 3. Farklı arıtım proseslerine göre kinetik parametreler

Arıtım Yöntemi	Model	R <sup>2</sup>	Parametre
Tekil ozonlama	Yalancı 1	0,993	k <sub>1</sub> (1/dk) q <sub>c</sub> (mg/g) 0,1773 0,328
	Yalancı 2	0,833	k <sub>2</sub> (g/mg dk) q <sub>c</sub> (mg/g) 0,0090 62,118
Tekil adsorpsiyon	Yalancı 1	0,980	k <sub>1</sub> (1/dk) q <sub>c</sub> (mg/g) 0,1047 24,098
	Yalancı 2	0,977	k <sub>2</sub> (g/mg dk) q <sub>c</sub> (mg/g) 0,0040 31,588
Katalitik ozonlama	Yalancı 1	0,965	k <sub>1</sub> (1/dk) q <sub>c</sub> (mg/g) 0,4780 96,041
	Yalancı 2	0,894	k <sub>2</sub> (g/mg dk) q <sub>c</sub> (mg/g) 0,0230 61,078

## 4. Sonuç

Bu çalışmada, nano-TiO<sub>2</sub> katalizörü HA'nın ozonlama ile bozundurulma etkinliğini arttırılmak amacıyla kullanılmıştır. Tekil ozonlama, tekil adsorpsiyon ve katalitik ozonlama deneyleri gerçekleştirilerek nano-TiO<sub>2</sub>'nin katalitik etkinliği HA'nın fiziko-kimyasal yapısındaki değişimi ve giderimi takip edilerek belirlenmiştir. HA'nın nano-TiO<sub>2</sub> üzerinde katalitik ozonlanması, deneysel koşullar altında, tek başına ozonlamaya kıyasla sudan ÇOK uzaklaştırma verimliliğini dört katına, tekil adsorpsiyona kıyasla ise iki katına çıkardığı gözlemlenmiştir. Tüm deneyler boyunca katalitik ozonlama sisteminin, katı-sıvı ara yüzeyinde DOM'un sürekli adsorpsiyonu ve oksidasyonunun dinamik dengesinde olduğu görülmüştür. Hem tekil ozonlama hem de nano-TiO<sub>2</sub>/O<sub>3</sub> prosesinin DOM'un aromatik yapısını bozularak biyolojik olarak giderilebilen fraksiyonunu arttırdığı görülmüştür. Çalışma sonuçları, tekil ozonlama, tekil nano-TiO<sub>2</sub> adsorpsiyonu ve katalitik ozonlama proseslerinin organik maddenin alifatik ve aromatik fraksiyonlarının uzaklaştırılmasındaki rolünün daha iyi anlaşılmasına olanak tanımaktadır.

## 5. Teşekkür

Aksaray Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü'ne bu yayının oluşturulmasında verdiği destekler için teşekkür ederiz.

## Kaynakça

- Alver, A. (2019). Evaluation of conventional drinking water treatment plant efficiency according to water quality index and health risk assessment. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(26), 27225-27238.
- Alver, A., Basturk, E. (2019). Removal of aspartame by catalytic ozonation with nano-TiO<sub>2</sub> coated pumice. *Desalination and Water Treatment*, 152, 268-275.
- Alver, A., Baştürk, E., Kılıç, A. (2021). Development of adaptive neuro-fuzzy inference system model for predict

- trihalomethane formation potential in distribution network simulation test. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(13), 15870-15882.
- Alver, A., Kılıç, A. (2018). Catalytic ozonation by iron coated pumice for the degradation of natural organic matters. *Catalysts*, 8(5), 219.
- Alver, A., Kılıç, A. (2021). Katalitik Ozonlanmanın Doğal Organik Maddenin Yapısına ve Trihalometan Oluşturma Potansiyeline Etkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*(23), 601-607.
- Alver, A., TAĞAÇ, A. A., KILIÇ, A. (2020). Gümüş nanopartiküller eşliğinde katalitik ozonlama prosesleri ile sucul ortamdan doğal organik maddelerin giderimi: Ozonlama ürünlerinin belirlenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 35(3), 1285-1296.
- Argun, M. E., Alver, A., Karatas, M. (2017). Optimization of landfill leachate oxidation at extreme conditions and determination of micropollutants removal. *Desalination and Water Treatment*, 90, 130-138.
- Čehovin, M., Medic, A., Scheideler, J., Mielcke, J., Ried, A., Kompare, B., Gotvajn, A. Ž. (2017). Hydrodynamic cavitation in combination with the ozone, hydrogen peroxide and the UV-based advanced oxidation processes for the removal of natural organic matter from drinking water. *Ultrasonics Sonochemistry*, 37, 394-404.
- Faria, P., Monteiro, D., Órfão, J., Pereira, M. (2009). Cerium, manganese and cobalt oxides as catalysts for the ozonation of selected organic compounds. *Chemosphere*, 74(6), 818-824.
- Grasso, D., Chin, Y.-p., Weber Jr, W. J. (1990). Structural and behavioral characteristics of a commercial humic acid and natural dissolved aquatic organic matter. *Chemosphere*, 21(10-11), 1181-1197.
- Guo, Y., Zhu, S., Wang, B., Huang, J., Deng, S., Yu, G., Wang, Y. (2019). Modelling of emerging contaminant removal during heterogeneous catalytic ozonation using chemical kinetic approaches. *Journal of Hazardous Materials*, 380, 120888.
- Ikhlaq, A., Brown, D. R., Kasprzyk-Hordern, B. (2015). Catalytic ozonation for the removal of organic contaminants in water on alumina. *Applied Catalysis B: Environmental*, 165, 408-418.
- International, A. (2004). *Annual book of ASTM standards*. ASTM International.
- Kim, J. K., Alajmy, J., Borges, A. C., Joo, J. C., Ahn, H., Campos, L. C. (2013). Degradation of humic acid by photocatalytic reaction using nano-sized ZnO/laponite composite (NZLC). *Water, Air, & Soil Pollution*, 224(11), 1-10.
- Kulovaara, M., Corin, N., Backlund, P., Tervo, J. (1996). Impact of UV254-radiation on aquatic humic substances. *Chemosphere*, 33(5), 783-790.
- Lagergren, S. K. (1898). About the theory of so-called adsorption of soluble substances. *Sven. Vetenskapsakad. Handlingar*, 24, 1-39.
- Leitner, N. K. V., Fu, H. (2005). pH effects on catalytic ozonation of carboxylic acids with metal on metal oxides catalysts. *Topics in catalysis*, 33(1-4), 249-256.
- Li, H., Xu, B., Qi, F., Sun, D., Chen, Z. (2014). Degradation of bezafibrate in wastewater by catalytic ozonation with cobalt doped red mud: efficiency, intermediates and toxicity. *Applied Catalysis B: Environmental*, 152, 342-351.
- Li, W.-T., Jin, J., Li, Q., Wu, C.-F., Lu, H., Zhou, Q., Li, A.-M. (2016). Developing LED UV fluorescence sensors for online monitoring DOM and predicting DBPs formation potential during water treatment. *Water research*, 93, 1-9.
- Ly, Q. V., Maqbool, T., Zhang, Z., Van Le, Q., An, X., Hu, Y., Cho, J., Li, J., Hur, J. (2020). Characterization of dissolved organic matter for understanding the adsorption on nanomaterials in aquatic environment: A review. *Chemosphere*, 128690.
- Mathon, B., Coquery, M., Liu, Z., Penru, Y., Guillon, A., Esperanza, M., Miège, C., Choubert, J.-M. (2021). Ozonation of 47 organic micropollutants in secondary treated municipal effluents: Direct and indirect kinetic reaction rates and modelling. *Chemosphere*, 262, 127969.
- Miao, H., Tao, W. (2008). Ozonation of humic acid in water. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology: International Research in Process, Environmental & Clean Technology*, 83(3), 336-344.
- Rucka, K., Solipiwo-Pieścik, A., Wolska, M. (2019). Effectiveness of humic substance removal during the coagulation process. *SN Applied Sciences*, 1(6), 535.
- Salla, J. S., Padoin, N., Amorim, S. M., Puma, G. L., Moreira, R. F. (2020). Humic acids adsorption and decomposition on Mn<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and α-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparticles in aqueous suspensions in the presence of ozone. *Journal of environmental chemical engineering*, 8(2), 102780.
- Simonin, J.-P. (2016). On the comparison of pseudo-first order and pseudo-second order rate laws in the modeling of adsorption kinetics. *Chemical Engineering Journal*, 300, 254-263.
- Thurman, E. M. (2012). *Organic geochemistry of natural waters* (Vol. 2). Springer Science & Business Media.
- Von Sonntag, C., Von Gunten, U. (2012). *Chemistry of ozone in water and wastewater treatment*. IWA publishing.
- Wang, Y., Xie, Y., Sun, H., Xiao, J., Cao, H., Wang, S. (2016). Efficient catalytic ozonation over reduced graphene oxide for p-hydroxybenzoic acid (PHBA) destruction: active site and mechanism. *ACS applied materials & interfaces*, 8(15), 9710-9720.
- Wang, Y., Yu, J., Han, P., Sha, J., Li, T., An, W., Liu, J., Yang, M. (2013). Advanced oxidation of bromide-containing drinking water: A balance between bromate and trihalomethane formation control. *Journal of Environmental Sciences*, 25(11), 2169-2176.
- Waterson, E. J., Canuel, E. A. (2008). Sources of sedimentary organic matter in the Mississippi River and adjacent Gulf of Mexico as revealed by lipid biomarker and δ<sup>13</sup>C<sub>TOC</sub> analyses. *Organic Geochemistry*, 39(4), 422-439.
- Weber, J., Chen, Y., Jamroz, E., Miano, T. (2018). Preface: humic substances in the environment. *Journal of Soils and Sediments*, 18(8), 2665-2667.
- Wolska, M., Mołczan, M., Urbańska-Kozłowska, H., Solipiwo-Pieścik, A. (2018). Optimizing coagulant choice for treatment technology of surface water for human consumption. *Environment Protection Engineering*, 44(4).
- Xu, B., Qi, F., Sun, D., Chen, Z., Robert, D. (2016). Cerium doped red mud catalytic ozonation for bezafibrate degradation in wastewater: Efficiency, intermediates, and toxicity. *Chemosphere*, 146, 22-31.
- Zhang, J., Lee, K.-H., Cui, L., Jeong, T.-s. (2009). Degradation of methylene blue in aqueous solution by ozone-based processes. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 15(2), 185-189.
- Zhao, H., Dong, Y., Jiang, P., Wang, G., Zhang, J., Li, K., Feng, C. (2014). An α-MnO<sub>2</sub> nanotube used as a novel catalyst in ozonation: performance and the mechanism. *New Journal of Chemistry*, 38(4), 1743-1750.



# Orta Anadolu'da Yağmura Dayalı Koşullar Altında Bazı Yeni Tescilli Arpa Çeşitlerinin Tane Verimi ve Verim Stabilitelerinin Belirlenmesi

Bekir Aktaş\*

Tohumluk Tescil ve Sertifikasyon Merkez Müdürlüğü, Ankara (ORCID: 0000-0002-8431-4554), [bekir\\_aktas@yahoo.com](mailto:bekir_aktas@yahoo.com)

(İlk Geliş Tarihi 25 Mayıs 2021 ve Kabul Tarihi 15 Ağustos 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.942391)

**ATIF/REFERENCE:** Aktaş, B. (2021). Orta Anadolu'da Yağmura Dayalı Koşullar Altında Bazı Yeni Tescilli Arpa Çeşitlerinin Tane Verimi ve Verim Stabilitelerinin Belirlenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (27), 89-94.

## Öz

Bu çalışmada; Orta Anadolu Bölgesi yağmura dayalı koşullarında 10 arpa çeşidinin (Tarm 92, İnce 04, Karatay 94, Yalın, Çetin 2000, Osvit, Mizgin, Yüksel, Keykubad ve Misket) tane verimi bakımından, GGE-biplot analiz yöntemi ile stabilitelerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Denemeler; 2018-2019 yetiştirme döneminde Eskişehir, Konya, Ankara (Haymana ve Yenikent) lokasyonlarında, tesadüf blokları deneme desenine göre yürütülmüştür. Denemelerde iki sıralı (*Hordeum vulgare* conv. *distichon*), altı sıralı (*Hordeum vulgare* conv. *hexastichon*) ve kavuzsuz arpa (*Hordeum vulgare* var. *nudum* Hook. f.) genotipleri kullanılmıştır. Tane verimine ilişkin varyans analiz sonuçlarına göre genotip (G), çevre (E) ve genotip × çevre etkisi (GEI) istatistiksel olarak önemli ( $p < 0.01$ ) bulunmuştur. Çeşitler tane veriminde 441.0-587.2 kg da<sup>-1</sup> arasında ortalama değerler göstermiştir. Tane verimine ait verilere uygulanan GGE-biplot analizinde varyasyonun %66.25'i PC1'de, %25.05'i PC2'de dağılım göstermiştir. Deneme çevreleri 2 mega-çevre oluşturmuştur. Ortalama çevre eksenine (AEC) göre yapılan değerlendirmede; 2020 yılında tescil edilen Keykubad, Mizgin, Yüksel ve Misket AEC ordinatının ilerisinde yer almışlardır. İki sıralı arpa çeşidi Keykubad en yüksek PC1 değerine sahip olup, en yüksek performansı göstermesi yanında, en stabil çeşit olarak belirlenmiştir. Kavuzsuz arpa çeşitleri Yalın ve Osvit AEC ordinatının gerisinde yer almalarına karşın, Yalın AEC apsisine yakın konumu ile daha kararlı bir yapı göstermiştir. Altı sıralı çeşitlerden Mizgin ise Çetin 2000'e göre AEC ordinatının oldukça üzerinde yer alarak daha stabil bir görünüme sahiptir. 2020 yılında tescil edilmiş arpa çeşitleri olan Keykubad, Mizgin, Yüksel, Misket ve Osvit'in tane verimi bakımından standart çeşitlere eşdeğer ve üstün özelliklere sahip oldukları belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** İki-sıralı arpa, altı-sıralı arpa, kavuzsuz arpa, verim, stabilize.

## Determination of Grain Yield and Yield Stability of Some New Registered Barley Varieties under Rainfed Conditions in Central Anatolia

### Abstract

In this study, it was aimed to determine the stability of 10 barley cultivars (Tarm 92, Ince 04, Karatay 94, Yalin, Cetin 2000, Osvit, Mizgin, Yuksel, Keykubad and Misket) under rainfed conditions in the Central Anatolia Region in terms of grain yield by using GGE-biplot analysis method. The trials were carried out according to the randomized block trial design in 4 locations (Eskisehir, Konya, Yenikent and Haymana of Ankara) during the 2018-2019 growing season. Two-rowed barley (*Hordeum vulgare* conv. *distichon*), six-rowed barley (*Hordeum vulgare* conv. *hexastichon*) and hulless barley (*Hordeum vulgare* var. *nudum* Hook. f.) genotypes were used in the experiments. According to the results of variance analysis related to grain yield, genotype (G), environment (E) and genotype × environment interaction (GEI) were found to be statistically significant ( $p < 0.01$ ). Cultivars showed average grain yield values between 441.0-587.2 kg da<sup>-1</sup>. In the GGE-biplot analysis applied to the grain yield data, 66.25% of the variation was distributed on PC1 and 25.05% on PC2. Trial environments created 2 mega-environments. In the evaluation according to the average environment coordinate (AEC); Keykubad, Mizgin, Yuksel and Misket, registered in 2020, were placed beyond the AEC ordinate. Two-row barley cultivar Keykubad has the highest PC1 value and has been determined as the most stable variety besides showing the highest performance. Although Yalin and Osvit cultivars of hulless barley are located behind the AEC ordinate, Yalin showed a more stable structure with its position closer to the AEC apsis. Mizgin, one of the six-row cultivars, has a more stable appearance by being well above the AEC ordinate compared to Cetin 2000. It was determined that Keykubad, Mizgin, Yuksel, Misket and Osvit, which are registered barley cultivars in 2020, have equivalent and superior characteristics to standard cultivars in terms of grain yield.

**Keywords:** Two-rowed barley, six-rowed barley, hulless barley, yield, stability.

\* Corresponding Author: [bekir\\_aktas@yahoo.com](mailto:bekir_aktas@yahoo.com)

## 1. Giriş

Ülkemizde ekmeklik buğdaydan sonra en fazla ekiliş ve üretim alanına sahip olan serin iklim tahılı arpadır. 2019 yılı verilerine göre yaklaşık 2.86 milyon hektar ekiliş ve 7.6 milyon tonluk üretim değeri kaydedilmiştir (FAO, 2019). Arpa genellikle doğrudan hayvan yemi olarak kullanılması yanında, malt sanayinde hammadde ve yem sanayinde karbonhidrat kaynağı olarak değerlendirilmektedir (Sönmez ve ark., 2017; Gençtan ve ark., 2020). Erkenci olması ve bu yönüyle kuraklıktan daha az etkilenmesi (Kutlu, 2010), tuzluluğa karşı toleranslı oluşu (Benlioğlu & Özkan, 2015), samanının hayvan beslemede kullanılması (Sönmez ve ark., 2017) arpayı ön plana çıkaran bazı etkenlerdir.

Orta Anadolu Bölgesi tarımsal alanlarının büyük bir bölümünün kuru tarım alanlarından oluşması, buğday ve arpa tarımının önemini arttırmaktadır. Tane verimi, genotip ve çevrenin etkileşimi sonucunda ortaya çıkmaktadır (Mut ve ark., 2014). Özellikle Orta Anadolu ve geçit bölgelerinde sulama imkanı olmayan alanlarda ekimi yapılan arpada, genotiplerin verim performanslarında belirleyici en önemli faktör yıllık yağış ve yağışın bitkinin gelişme dönemlerine dağılımıdır. Yağış yanında toprak, yetiştirme teknikleri ve diğer faktörler çevresel etmenleri oluşturmaktadır. Kuraklık, ekstrem sıcaklıklar, tuzluluk gibi abiotik stresler hücrede fizyolojik zararlar oluşturmakta ve verimde düşüslere neden olmaktadır (Yavaş ve ark., 2020). Genotiplerin performanslarının değerlendirilmesinde ve genotip  $\times$  çevre etkileşimlerinin açıklanmasında çok çevreli denemeler kurulmaktadır (Yan & Kang, 2003). Mut ve ark. (2014); arpa genotiplerinin verim stabiliteğini belirlemek amacıyla ortalama tane verimi, regresyon ve belirtme katsayısı, regresyondan sapma kareler ortalaması ve ekovalans değerini kullanmıştır. Kendal (2016); arpa çeşitlerinin verim performansında büyük ölçüde çevrenin etkisi olduğunu, bunu genotip  $\times$  çevre etkileşimi ile genotipin izlediğini belirtmiş, çok çevreli arpa verim denemelerinin değerlendirilmesinde GGE-biplot analiz yöntemini kullanmıştır. Kızılgeçi ve ark. (2019); Diyarbakır ve Mardin lokasyonlarında arpa verim ve kalitesi üzerine G ve GEI'nin yüksek etkiye sahip olduğunu belirterek, biplot analizi ile verim ve kalite üzerinde değerlendirmede bulunmuştur. Tekdal ve ark. (2014) makarnalık buğday, Aktaş ve ark. (2017) ekmeklik buğday, Gönülal ve ark. (2021) ile Kaplan ve ark. (2017) tane ve silajlık mısır, Xu ve ark. (2014) pamuk gibi diğer bitki türlerinde GGE-biplot yöntemini kullanan araştırmacılar.

Bu çalışmada; Orta Anadolu'nun yağmura dayalı koşullarında 10 arpa çeşidinin tane verimi bakımından, GGE-biplot analiz yöntemi ile stabiliteğinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Arpa; Orta Anadolu Bölgesi kuru koşullarının vazgeçilmez bir tarımsal ürünü olup, arpa yetiştiriciliğinde öncelikli hedef birim alandan yüksek tane verimi elde edilmesidir (Taşçı & Bayramoğlu, 2020). Farklı özelliklere sahip arpa çeşitlerinin (Sıra sayısı ve kavuzluluk) aynı deneme seti içerisinde

tane verimi performansları ve stabiliteğeri birlikte değerlendirilmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

Çalışmada; Tarm 92, İnce 04, Karatay 94, Yalın, Osvit, Çetin 2000, Mizgin, Yüksel, Keykubad ve Misket çeşitleri materyal olarak kullanılmıştır. Osvit, Mizgin, Yüksel, Keykubad ve Misket çeşitleri 2020 yılında ülkemizde tescil edilmiştir (TTSM, 2020). 2018-2019 ekim yılında tarımsal değerleri ölçme denemeleri olarak yürütülen bu araştırmada, Tarm 92, İnce 04, Karatay 94, Yalın ve Çetin 2000 standart çeşit olarak kullanılmıştır. Osvit ve Yalın kavuzsuz, Mizgin ve Çetin 2000 altı sıralı, diğerleri ise iki sıralı arpa çeşitleridir. Orta Anadolu Bölgesinin yağmura dayalı koşulları için tescil edilmiş altı sıralı standart çeşit olmaması, Yalın'dan başka kışlık kavuzsuz arpa çeşidi bulunmaması nedeniyle, farklı özelliklere sahip arpa çeşitleri aynı deneme setinde değerlendirmeye alınmıştır. Sıra sayısı ve kavuzluluk özellikleri bakımından farklı arpa çeşitlerinin aynı deneme seti içerisinde bulunması, karşılaştırmalı değerlendirmeler yapılmasına da imkan vermiştir.

Aylık ortalama sıcaklık ve aylık yağış miktarlarına ait Tablo 1'deki veriler incelendiğinde, lokasyonlara göre uzun yıllar ortalamasından sapmalar görülmektedir. Konya, Eskişehir ve Yenikent lokasyonlarında aylık ortalama sıcaklıklar, genel olarak uzun yıllar ortalamasının üzerinde gerçekleşmiştir. Haymana lokasyonunda ise aylık sıcaklık ortalaması; Ocak, Mart ve Nisan aylarında uzun yıllar ortalamasının altında kalmıştır. Yetiştirme döneminde düşen toplam yağış bakımından, Konya ve Haymana lokasyonları uzun yıllar ortalamasına yakın olmasına karşın, aylar bazında veriler incelendiğinde aşırı sapmalar olduğu dönemler de bulunmaktadır. Örneğin Mayıs ayında; Konya, Haymana ve Yenikent lokasyonlarında uzun yıllar ortalamasının oldukça altında yağış düşmüştür. Eskişehir'de genel olarak uzun yıllar ortalaması ve üzerinde yağış alınmıştır.

Tesadüf Blokları Deneme Desenine göre 4 tekrarlamalı olarak denemeler kurulmuştur. Denemeler; 2018-2019 yetiştirme döneminde, Eskişehir, Yenikent (Ankara), Haymana (Ankara) ve Konya lokasyonlarında yağmura dayalı koşullar altında yürütülmüştür. Ekimler lokasyonlara göre 6.0-7.2 m<sup>2</sup> arasındaki parsellere 6 sıralı parsel mibzeri ile, hasatlar ise parsel biçerdöveri ile yapılmıştır. Ekimle birlikte 2.3 kg da<sup>-1</sup> N, 6.0 kg da<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, kardeşlenme döneminde 4.0 kg da<sup>-1</sup> N hesabıyla gübreleme yapılmıştır.

Varyans analizi tesadüf blokları deneme desenine göre SAS (SAS Institute, 1999) istatistik analiz programı kullanılarak yapılmıştır. Genotip ve Genotip  $\times$  Çevre etkileşimi GGE-Biplot analiz yöntemine göre GenStat analiz programı ile (Genstat, 2009) yapılmış ve grafikler üzerinde değerlendirilmelerde bulunulmuştur.

Tablo 1. Deneme çevrelerine ait iklim verileri

Ay-Yıl	Konya				Eskişehir			
	A	B	C	D	A	B	C	D
Ekim-2018	16.2	14.4	44.8	33.2	14.0	12.5	29.9	30.2
Kasım-2018	8.8	7.7	22.6	36.3	8.4	6.3	22.0	24.4
Aralık-2018	4.2	3.2	73.4	45.5	2.7	1.8	52.5	40.2
Ocak-2019	1.8	1.3	66.6	44.8	1.7	0.3	50.4	35.4
Şubat-2019	5.3	3.7	19.6	24.2	4.1	2.4	50.1	27.1
Mart-2019	8.0	8.2	19.2	31.1	7.3	6.4	13.1	28.4
Nisan-2019	11.1	12.7	26.4	28.1	10.2	10.5	43.9	36.8
Mayıs-2019	19.7	17.4	5.4	36.1	17.4	15.5	37.9	39.3
Haziran-2019	23.0	21.8	32.6	33.8	21.1	19.6	57.8	38.7
Temmuz-2019	24.3	25.4	9.2	5.2	21.8	22.6	17.4	15.0
Ortalama	12.2	11.6			10.9	9.8		
Toplam			319.8	318.3			375.0	315.5

Ay-Yıl	Haymana				Yenikent*			
	A	B	C	D	A	B	C	D
Ekim-2018	12.1	11.9	70.2	31.3	13.2	13.3	27.4	34.2
Kasım-2018	6.5	5.6	14.0	17.3	7.2	6.0	6.2	23.2
Aralık-2018	1.0	0.8	54.4	26.8	2.3	1.2	5.8	40.8
Ocak-2019	-0.8	-1.2	35.8	31.6	1.0	0.1	29.2	57.8
Şubat-2019	2.2	1.1	36.8	23.2	3.7	3.6	32.2	35.7
Mart-2019	4.6	5.1	20.6	41.6	5.8	7.0	35.0	53.9
Nisan-2019	7.8	9.6	23.4	26.4	9.4	10.9	25.0	37.2
Mayıs-2019	15.0	14.3	3.8	45.4	16.1	15.6	23.2	65.2
Haziran-2019	18.7	18.5	15.0	37.5	20.6	19.6	52.6	53.7
Temmuz-2019	19.2	22.2	31.8	10.2	21.6	23.9	18.8	10.8
Ortalama	8.6	8.8			10.1	10.1		
Toplam			305.8	291.3			255.4	412.5

A:Ortalama sıcaklık (°C), B:Uzun yıllar sıcaklık ortalaması (°C), C:Yağış (mm), D:Uzun yıllar yağış ortalaması (mm), \*Kahramankazan verileri esas alınmıştır.

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Çevreler üzerinden yapılan birleştirilmiş varyans analizi sonuçlarına göre; çevre, genotip ve genotip×çevre interaksiyonu  $p < 0.01$  seviyesinde önemli bulunmuştur (Tablo 2). Çevre, genotip ve genotip×çevre interaksiyonundan oluşan kareler toplamının; %14.8'i çevreye, 18.4'ü genotipe, %66.9'u genotip×çevre interaksiyonuna aittir. Çeşitlerin lokasyonlardaki tane verimi ortalamaları Tablo 3'te verilmiştir. Deneme çevreleri 3 farklı istatistiksel grupta yer almıştır. Konya lokasyonu  $538.3 \text{ kg da}^{-1}$  ile en yüksek birim alan tane verimi ortalamasına sahip çevre olmuştur. Bunu Yenikent lokasyonu takip etmiştir. Eskişehir ve Haymana lokasyonları aynı istatistiksel grupta yer almışlardır. Araştırmada incelenen 10 genotip ise 4 farklı istatistiksel grupta dağılım göstermiştir. Keykubad en yüksek ( $587.2 \text{ kg da}^{-1}$ ) tane verimi ortalamasına sahipken, kavuzsuz bir çeşit olan Yalın en düşük ( $441.0 \text{ kg da}^{-1}$ ) ortalama değeri göstermiştir.

Deneme çevrelerindeki arpa çeşitlerinin tane verimi sonuçları ile yapılan GGE-biplot analizi, varyasyonun %91.30'unu açıklamıştır (Şekil 1). Bu varyasyonun %66.25'i PC1'de, %25.05'i PC2'de dağılım göstermiştir. Konya, Haymana ve Eskişehir lokasyonları pozitif PC1 değeri ile çapraz olmayan interaksiyon göstermektedir. Yenikent lokasyonu ise negatif PC1

değeri olarak diğer çevrelerden ayrılmıştır. Haymana ve Eskişehir deneme çevrelerine ait vektörler, birbirleri ile en düşük açı değerini gösteren çevrelerdir.

GGE-biplot analizinde deneme çevreleri 2 mega-çevre oluşturmuştur. Konya, Eskişehir ve Haymana mega-çevre 1'de toplanırken, Yenikent mega-çevre 2'de yer alan deneme çevresi olmuştur (Şekil 2). Biplot merkezine en uzak konumdaki genotiplerin işaretçilerinin birleştirilmesi ile 4 köşeli bir poligon elde edilmiştir. Bu dörtgenin kenarlarına çizilen dik ışınlar ise biplot grafiğini 4 sektöre ayırmıştır. Yan (2014) poligonun köşe noktalarında yer alan genotiplerin (Vertex genotipler) buldukları sektörün yüksek performansına sahip genotipleri olduğunu belirtmiştir. Keykubad, Osvit, Çetin 2000 ve İnce 04 çeşitleri dörtgenin köşe noktalarında yer alan genotiplerdir.

Tablo 2. Tane verimine ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon kaynağı	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F
Tekerrür	12	142030	11836	3.01**
Çevre	3	223674	74558	18.93**
Genotip	9	278137	30904	7.85**
Genotip×çevre	27	1013579	37540	9.53**
Hata	108	425299	3938	
Toplam	159	2082719		
CV (%): 12.9				

\*\*  $p < 0.01$  seviyesinde önemliTablo 3. Arpa çeşitlerinin deneme çevrelerindeki tane verimi ortalamaları ( $kg\ da^{-1}$ )

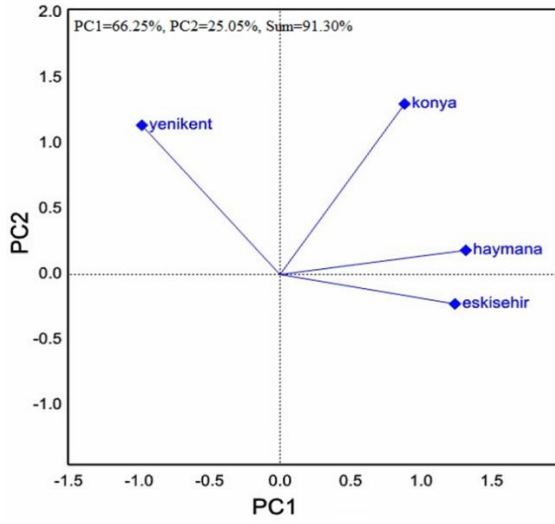
Çeşitler	Eskişehir	Haymana (Ankara)	Yenikent (Ankara)	Konya	Ortalama
1-Tarm 92	433.9	479.3	449.2	547.5	477.5 bcd
2-İnce 04	529.5	449.6	334.9	485.8	449.9 cd
3-Karatay 94	493.3	465.9	319.1	550.8	457.2 cd
4-Yalın	438.5	422.7	435.1	468.0	441.0 d
5-Osvit	328.5	325.6	777.6	490.0	480.4 bcd
6-Çetin 2000	443.1	342.0	598.9	409.3	448.3 cd
7-Mizgin	429.8	426.3	576.2	614.3	511.7 b
8-Yüksel	445.1	418.2	598.0	594.9	514.0 b
9-Keykubad	591.0	559.9	522.5	675.4	587.2 a
10-Misket	479.9	525.7	412.4	546.8	491.2 bc
<b>Ortalama</b>	461.3 C	441.5 C	502.4 B	538.3 A	

Çeşitlerin tane verimine ilişkin stabilite durumları ortalama çevre eksenine (AEC) göre Şekil 3'te değerlendirilmiştir. Keykubad, Mizgin, Yüksel, Misket, Tarm 92 ve Karatay 94 AEC ordinatının üzerinde bulunan genotipler olarak belirlenmiştir. En yüksek PC1 skorunu alan çeşit Keykubad olmuştur. AEC ordinatının üzerinde yer alması yanında, AEC'ye en kısa vektörle bağlanan çeşit Tarm 92'dir. Tarm 92 aynı zamanda biplot orijinine en yakın konumlanmış genotiptir. Yan & Tinker (2006) biplot orijinine yakın olan genotiplerin çevresel değişimlerdeki duyarlılığının daha az veya tepkisinin daha düşük seviyede kaldığını bildirmiştir. Karatay 94, Misket, Mizgin ve Yüksel nisbeten daha uzun vektörlerle AEC'ye bağlanan genotiplerdir. Keykubad çeşidi ise hem çevre ortalamasının üzerinde değere sahip olması, hem de AEC'ye olan vektörünün daha kısa olması en stabil çeşit görünümü elde etmesini sağlamaktadır. Çalışmada yer alan altı sıralı çeşitlerden Mizgin AEC ordinatının üzerinde konumlanırken, Çetin 2000 AEC ordinatının en gerisinde ve en düşük PC1 değerine sahip çeşit olmuştur. Kavuzsuz arpa çeşitleri olan Yalın ve Osvit AEC ordinatının gerisinde yer almışlardır. Yalın çeşidi AEC apsisine daha yakın konumlanırken, Osvit AEC'ye olan vektör uzunluğu en fazla olan genotiptir. Bu durum değişen çevre koşulları karşısında kararlılığının oldukça düşük olduğunu göstermektedir. Şekil 4'te Yalın ve Osvit kavuzsuz arpa çeşitlerinin biplot grafiği üzerinde karşılaştırılması yapılmıştır. Biplot grafik alanı bir eksen ile ikiye ayrılmış olup Yenikent ile Konya çevreleri Osvit çeşidine ait alanda yer almıştır. Haymana ve Eskişehir ise Yalın çeşidinin alanında bulunan çevreler olmuştur.

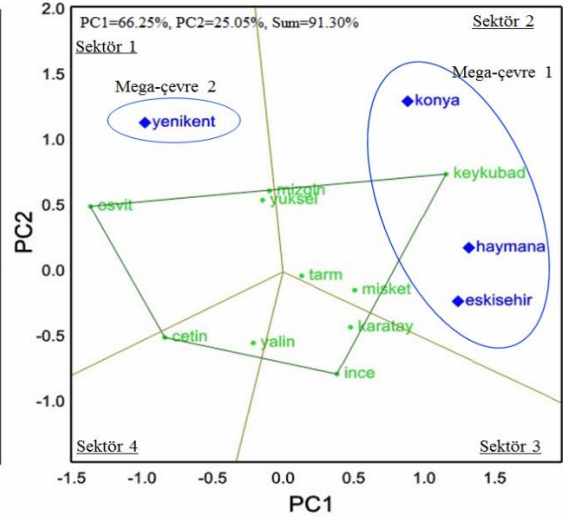
Şekil 5'te genotip odaklı, Şekil 6'da çevre odaklı oluşturulan biplot grafikleri verilmiştir. İdeal genotipler tüm ortamlarda yüksek ve kararlı performans gösterebilmelidir (Yan & Kang, 2003). Keykubad ideal genotip bölgesinde yer almış olup, aynı zamanda AEC apsisine de oldukça yakın konumu ile kararlı bir

yapı görünümü sergilemektedir. Keykubad göstermiş olduğu performans ile diğer genotiplerden belirgin şekilde ayrılmıştır. Şekil 5'te Keykubad'dan sonra ideal genotip bölgesine yakınlık bakımından Mizgin ve Misket çeşitleri gelmektedir. Bu çeşitleri Yüksel ve Tarm 92 çeşitleri takip etmektedir. Çetin 2000 ve Osvit çeşitleri ideal genotip bölgesine en uzak dairesel alanda yer alan çeşitlerdir. Osvit'in AEC apsisine en uzak çeşit olması kararlılığın düşük olduğunu göstermektedir. AEC apsısından aşırı sapmalar araştırmacılar tarafından irdelenmesi gereken bir konudur (Aktas, 2020). Yenikent lokasyonunda Osvit dışındaki tüm genotiplerde yatma gözlemlenmiştir. Tablo 3'te görüldüğü üzere Osvit Yenikent lokasyonunda en yüksek tane verimi performansını gösteren çeşittir. Verim performansında Yalın ve Osvit'in kavuzsuz olması nedeniyle, diğer kavuzlu çeşitlerin gerisinde kalması beklenen bir durumdur. Sulu koşullar için tescil edilmiş bir genotip olan Çetin 2000, bu çalışmada Mizgin için standart olarak denemeye alınmıştır. Geçit (2016) altı sıralı arpaların verimli ve yağışı fazla olan alanları iyi değerlendirdiğini bildirmiştir. Kendal & Doğan (2014) ise; Diyarbakır, Hazro ve Kızıltepe'de doğal yağışa dayalı koşullarda iki ve altı sıralı başak yapısına sahip çeşitleri değerlendirmiş, altı sıralıların tane veriminde, iki sıralı genotiplerin ise bin tane ve hektolitre ağırlığı ile protein oranında öne çıktığını belirtmiştir.

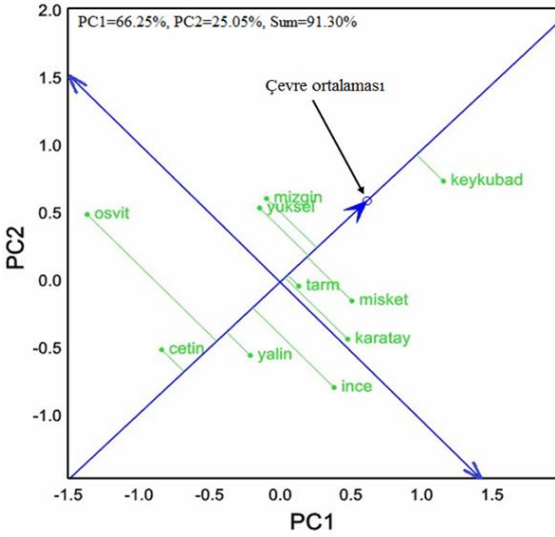
İdeal çevre merkezli biplot grafiğinde, Konya lokasyonu ideal çevre merkezine en yakın deneme çevresidir. Bunu Haymana ve Eskişehir lokasyonları takip etmektedir. İdeal çevre bölgesine en uzak konumlanan çevre ise Yenikent'tir. Konya lokasyonu AEC apsisine en yakın konumlanan çevre olması nedeniyle, temsil etme gücü en fazla olan deneme çevresidir (Yan & Tinker, 2006).



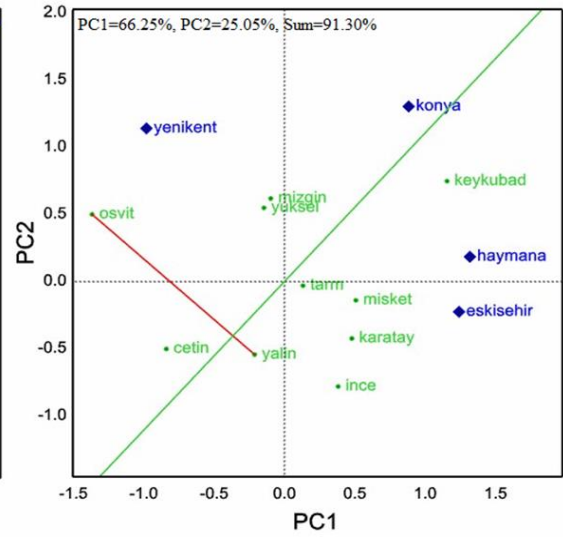
Şekil 1. GGE-biplot grafiğinde çevrelerin konumları ve vektörlerinin görünüşü



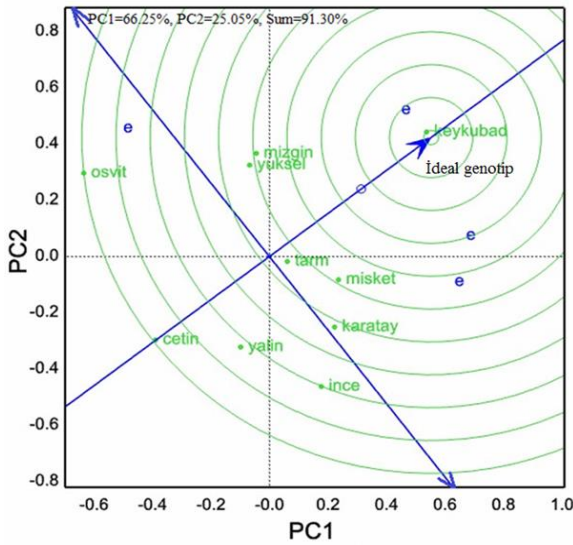
Şekil 2. GGE-biplot grafiğinde genotiplerin oluşturduğu poligon ve mega-çevreler



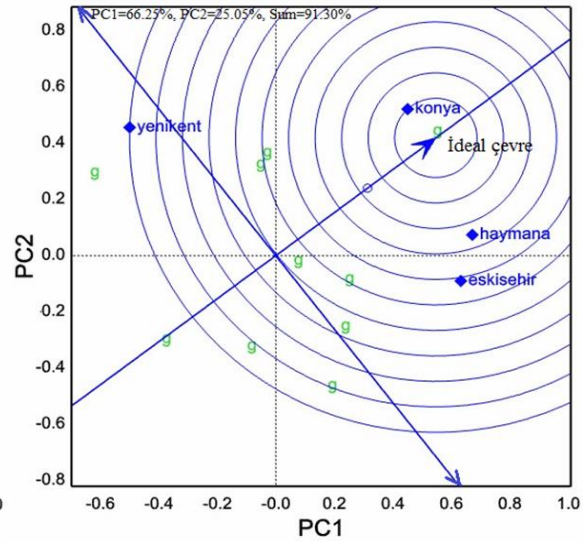
Şekil 3. Çeşitlerin tane verimi performansları ve AEC'ye olan vektörlerinin görünüşü



Şekil 4. Yalın ve Osvit çeşitlerinin GGE-biplot grafiğindeki karşılaştırılması



Şekil 5. İdeal genotip odaklı biplot grafiği



Şekil 6. İdeal çevre odaklı biplot grafiği



## 4. Sonuç

10 arpa çeşidinin tane verimi bakımından değerlendirildiği bu çalışmada Keykubad çeşidi en çok öne çıkan genotip olmuştur. 2020 yılında tescil edilen 5 yeni arpa çeşidinin (Keykubad, Osvit, Mizgin, Yüksel ve Misket) oldukça ümitvar oldukları belirlenmiştir. 6 sıralı arpa çeşit adaylarının tescilinde, genellikle sulu koşullar için başvuru yapılmakta olup, Mizgin kuru koşullarda yüksek performans göstermiştir. Son yıllarda insan beslenmesindeki avantajları nedeniyle kavuzsuz arpaya ilginin arttığı görülmektedir. Araştırmada incelenen kavuzsuz çeşitlerden Osvit ve Yalın, kavuzlu çeşitlere yaklaşan verim potansiyellerine ulaşabilmektedirler. Büyük bir bölümü kuru tarım alanlarından oluşan Orta Anadolu Bölgesi'nde yüksek tane verimi için genotip büyük öneme sahiptir. İklimsel verilerde yaşanan ekstrem durumların arttığı son yıllarda, farklı çevrelere uyum yeteneği yüksek çeşitler, bölgedeki tarımsal üretime büyük katkı sağlayacaktır.

## Kaynakça

- Aktas, B. (2020). Evaluation of Yield and Agronomic Traits of New Winter Bread Wheat Cultivars. *Genetika*, 52(1): 81-96.
- Aktaş, H., Karaman, M., Erdemci, İ., Kendal, E., Tekdal, S., Kılıç, H. & Oral, E. (2017). Sentetik ve Modern Ekmeklik Buğday Genotiplerinin (*Triticum aestivum* L.) Verim ve Kalite Özelliklerinin Karşılaştırılması. *Uluslararası Tarım ve Yaban Hayatı Bilimleri Dergisi*, 3(1): 25-32.
- Benlioğlu, B. & Özkan, U. (2015). Bazı Arpa Çeşitlerinin (*Hordeum vulgare* L.) Çimlenme Dönemlerinde Farklı Dozlardaki Tuz Stresine Tepkilerinin Belirlenmesi. *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Ens. Dergisi*, 24 (2):109-114.
- FAO (2019). *Statistical Databases*. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>. Erişim tarihi 28.03.2021.
- Geçit, H.H. (2016). Serin İklim Tahılları. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, No:1640 Ders Kitabı: 591, s. 822, Ankara.
- Gençtan, T., Akar, T., Öktem, A., Soylu, S., Hurma, H., Balkan, A. & Sürek, H. (2020). Tahıl Üretimimizin Mevcut Durumu ve Geleceği. *Türkiye Ziraat Mühendisliği IX. Teknik Kongresi*, 371-394, 13-17 Ocak 2020, Ankara.
- GenStat (2009). *GenStat for Windows (12<sup>th</sup> Edition) Introduction*. VSN International, Hemel Hempstead.
- Gönülal, E., Soylu, S. & Şahin, M. (2021). Effects of Irrigation Termination Dates on Grain Yield, Kernel Moisture at Harvest and Some Agronomic Traits of Maize. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 25(1): 100-108.
- Kaplan, M., Kokten, K. & Akcura, M. (2017). Assessment of Genotype×Trait×Environment Interactions of Silage Maize Genotypes Through GGE Biplot. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 77(3): 212-217.
- Kendal, E. (2016). GGE Biplot Analysis of Multi-Environment Yield Trials in Barley (*Hordeum vulgare* L.) Cultivars. *Ekin Journal of Crop Breeding and Genetics*, 2(1):90-99.
- Kendal, E. & Doğan, H. (2014). Başaktaki Sıra Sayısının Arpada Verim, Bazı Kalite ve Morfolojik Parametrelere Etkisi. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 1(2):132-142.
- Kızılgeçi, F., Yıldırım, M., Akıncı, C. & Albayrak, Ö. (2019). Arpada Tane Verimi ve Kalite Özellikleri Üzerine Genotip ve Çevrenin Etkileşimi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 22(3): 346-353.

- Kutlu, İ. (2010). Tahıllarda Kuraklık Stresi. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, 3(1):35-41.
- Mut, Z., Sirat, A. & Sezer, İ. (2014). Samsun Koşullarında Bazı İki Sıralı Arpa (*Hordeum vulgare* conv. *distichon*) Genotiplerinde Tane Verimi ile Başlıca Tarımsal Özelliklerin Belirlenmesi ve Stabilite Analizi. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 24(1): 60-69.
- SAS Institute (1999). *SAS user's guide: Statistics*. SAS Institute, Cary, NC.
- Sönmez, A.C., Yüksel, S., Belen, S., Çakmak, M., Yıldırım, Y., Karaduman, Y. & Akın, A. (2017). Kırşehir Koşullarında Orta Anadolu ve Geçit Bölgeleri İçin Geliştirilen Bazı Arpa (*Hordeum vulgare* L.) Hat ve Çeşitlerinin Tane Verim ve Bazı Kalite Unsurlarının İncelenmesi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üni. Tarım ve Doğa Dergisi*, 20 (Özel Sayı):258-262.
- Taşçı, R. & Bayramoğlu, Z. (2020). Arpa Üretim İşleme ve Pazarlama Yapısının Değerlendirilmesi. *İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Ens. Dergisi*, 10(4): 2988-2998.
- Tekdal, S., Kendal, E. & Ayana, B. (2014). İleri Kademe Makarnalık Buğday Hatlarının Verim ve Bazı Kalite Özelliklerinin Biplot Analiz Yöntemi ile Değerlendirilmesi. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi* 1(3): 322-330.
- TTSMM (2020). *Serin İklim Tahılları Tescil Raporu*. Tohumluk Tescil ve Sertifikasyon Merkez Müdürlüğü, Ankara.
- Xu, N.Y., Fok, M., Zhang, G.W., Li, J. & Zhou, Z.G. (2014). The Application of GGE Biplot Analysis for Evaluating Test Locations and Mega-environment Investigation of Cotton Regional Trials. *Journal of Integrative Agriculture*, 13(9):1921-1933.
- Yan, W. & Kang, M.S. (2003). *GGE-Biplot Analysis: A Graphical Tool for Breeders, Geneticists and Agronomists*. CRD Press, Boca Raton.
- Yan, W. & Tinker, N.A. (2006). *Biplot Analysis of Multi-environment Trial Data: Principles and Applications*. *Canadian Journal of Plant Science*, 86(3):623-645.
- Yan, W. (2014). *Crop Variety Trials: Data Management and Analysis*. John Wiley & Sons.
- Yavaş, İ., Çınar, V. M. & Ünay, A. (2020). Bitkilerde Abiyotik Stres Koşullarında Selenyum Metabolizması ve Fizyolojik Etkileri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 840-849.



# Türkiye’de İnşaat Sektöründe Çalışan Mimar ve İnşaat Mühendislerinin Cam Tavan Algılarının Erillik/Dişillik Kültür Boyutu Açısından Belirlenmesi

Hava Yaşbay Kobal<sup>1\*</sup>, İlhami Ay<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Hakkâri Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İşletme Bölümü, Hakkâri, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-2589-785X), havayasbay@hakkari.edu.tr

<sup>2</sup> Hakkâri Üniversitesi, Çölemerik Meslek Yüksekokulu, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, Hakkâri, Türkiye (ORCID: 0000-0002-3506-3234), ilhamiay@hakkari.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 31 Mayıs 2021 ve Kabul Tarihi 15 Ağustos 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.945932)

**ATIF/REFERENCE:** Yaşbay Kobal, H. & Ay, İ. (2021). Türkiye’de İnşaat Sektöründe Çalışan Mimar ve İnşaat Mühendislerinin Cam Tavan Algılarının Erillik/Dişillik Kültür Boyutu Açısından Belirlenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (27), 95-102.

## Öz

Bu çalışmanın amacı, Türkiye’de inşaat sektöründe çalışan mimar ve inşaat mühendislerinin cam tavan algılarının erillik/dişillik kültür boyutu algıları açısından belirlenmesidir. Anket yöntemi ile toplanan veriler SPSS 25 nicel analiz programı ile analize tabi tutulmuştur. Analiz sonucunda, mimarların ve inşaat mühendislerinin cam tavan algılarının oluşmasında etkili olan toplumsal (stereotipler ve mesleki ayırım) ve bireysel engeller (çoklu rol üstlenme) boyutlarının kadınlarda; örgütsel engeller (örgütsel kültür ve politikalar, informal ağları kullanmama) boyutunun erkeklerde daha yüksek olduğu saptanmıştır. Anketi cevaplayanların eril kültür algıları erkeklerde daha yüksektir. Diğer taraftan anketi cevaplayanların mimar veya inşaat mühendisi olmalarının cam tavan ve erillik kültür boyutu algıları açısından bir farklılık ortaya çıkarmadığı saptanmıştır. Son olarak eril kültür algısı arttıkça cam tavanın boyutlarından biri olan toplumsal engeller algısının artacağı saptanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Cam Tavan, Erillik/Dişillik, Toplumsal Roller.

## Determination of Glass Ceiling Perceptions Of Architects And Civil Engineers Working In The Turkish Construction Sector In Terms Of The Dimension Of Masculinity/Femininity Culture

### Abstract

This study aims to to determine the perception of glass ceiling of architects and civil engineers working in the Turkey construction industry in terms of masculinity / feminine culture dimension perceptions. The data collected by the questionnaire method were analyzed with the SPSS 25 quantitative analysis program. As a result of the analysis it was found that social (stereotypes and occupational distinction) and individual barriers (taking on multiple roles) dimensions that are effective in the formation of glass ceiling perceptions of architects and civil engineers; The dimension of organizational barriers (organizational culture and policies, not using informal networks) was found to be higher in males. The perceptions of masculine culture of the respondents are higher in men. On the other hand, it was determined that the respondents' perceptions of the glass ceiling and masculinity cultural dimension did not differ in terms of being architects or civil engineers. Finally, It has been determined that as the perception of masculine culture increases, the perception of social obstacles, one of the dimensions of the glass ceiling, will increase.

**Keywords:** Glass Ceiling, Masculinity/ femininity, Social Roles

\* Sorumlu Yazar: havayasbay@hakkari.edu.tr

## 1. Giriş

1970'lerden beri kadınların işgücüne katılım oranı artmasına (Dimovski vd., 2010:61) rağmen, üst yönetim kademelerindeki oranı düşük kalmıştır (Linehan, 2002:802; Dreher, 2003:541-542; Weyer, 2006: 441; Jawahar ve Hemmasi, 2006: 643; Bendl ve Schmidt, 2010:614; Sabat ve Mishra, 2010:365; Whang ve Cho, 2013:43; Downes vd., 2014: 131). Kadın yöneticiler, kariyer geliştirme ve üst yönetime terfi için erkeklerden daha az fırsatlara sahip olduklarını ifade etmektedirler. Chenevert ve Tremblay (2002:920) ile Meyerson ve Fletcher (2000:127), kadın yöneticilerin yüksek eğitim düzeyine ve kariyerlerinde ilerleme arzusuna sahip olsalar bile, çok azının erkek meslektaşları ile aynı statüyü elde etmelerinin söz konusu olduğunu ve bunun sebeplerinden birinin de "cam tavan" olduğunu ifade etmişlerdir (Dimovski vd., 2010:62).

Alan yazında cam tavan araştırmaları büyük oranda cam tavanın örgütlerde var olup olmadığı, cam tavan engelleri ve bu engelleri ortadan kaldırmak için hangi stratejilerin uygulanması gerektiğine odaklanılmıştır. Cam tavan olgusunun erkek egemen olarak kabul edilen çeşitli meslek grupları açısından ele alınması bir başka araştırma alanıdır (Sökmen ve Şahingöz, 2017:113). Toplumun kadına biçtiği cinsiyet rolleri nedeniyle kadınlar iş hayatında erkeklerin gerisinde kalabilmektedir. Çünkü toplumda erkeklere iktidar ve mücadeleyi içine alan roller verilirken kadınlara ev içi roller verilmiştir. Bu roller ile paralel şekilde meslekler cinsiyetlere göre sınıflandırılmakta; bazı meslekler kadın mesleği, bazıları da erkek mesleği olarak görülmektedir. Buradan hareketle araştırmanın amacı, Türkiye'de inşaat sektöründe çalışan mimar ve inşaat mühendislerinin cam tavan algılarının erillik kültür boyutu özellikleri açısından belirlenmesidir.

### 1.1. Cam Tavan Kavramı

"Cam tavan" kavramını ilk kez 1986 yılında Hymowitz ve Schellhardt, Wall Street Journal'da yer alan raporda kullanmışlardır (Lockwood, 2004:1; Roman, 2017:1 Lathabhavan, 2019:305). Cam tavan, kadınların ve azınlık grupların örgütlerde üst düzey yönetici pozisyonlarına ilerlemesini ve tam potansiyellerine ulaşmalarını engelleyen görünmez fakat güçlü engelleri ifade etmektedir (Cannings, 1988; 87; Knutson ve Schmidgall, 1999:64; Murrell ve James, 2001: 244; Jackson, 2001: 30; Lockwood, 2004:1; Mathur-Helm, 2006:311; Weyer, 2006: 442; Hu ve Myeong-Su, 2008:1; Downes vd., 2014: 132; Lathabhavan, 2019:305). Bu engel, performansın doğru bir ölçüsü olarak iş ile ilgili becerilere, eğitime veya deneyime sahip olmadıkları için değil, sadece kadın ya da azınlık oldukları gerçeğine dayanan bir engeldir (Cannings, 1988; 87; Stroh vd., 1996:102-103; Goodman vd., 2003: 475-476).

Örgütlerde 'cam tavan' olgusu üç nedenden dolayı problemler yaratmaktadır. İlk olarak alt ve orta düzey yönetim pozisyonlarında yer alan, örgüte özgü değerli bilgilere sahip ve yeteneklerinden yararlanılabilecek kadın yöneticiler cam tavan nedeniyle üst yönetime ulaşma fırsatının sınırlı olduğunu algıladıklarında motivasyonları azalabilir ve işten ayrılmak isteyebilirler. İkincisi, üst yönetim üyeleri arasındaki çeşitlilik eksikliğiyle ilgilidir. Fazla homojenlik kötü ve maliyetli kararlara yol açabilir. Üçüncüsü, zorlu işgücü piyasasında cinsiyet kaynaklı engeller ihtiyaç duyulan kaynakların ve yeteneklerin arzını azaltabilir. Son olarak cam tavanı sürdürmek, örgütün çalışanlarına nasıl davrandığı konusunda hem erkeklerin

hem de kadınların görüşlerini etkileyebilir ve yetenekli insanların gelecekteki fırsatları sorgulamasına yol açabilir (Dreher, 2003: 541-542; Goodman, 2003:476).

### 1.2. Cam Tavan Engelleri

Cam tavan engelleri literatürde bireysel kaynaklı, örgütsel kaynaklı ve toplumsal kaynaklı engeller olarak ele alınmaktadır. Bireysel kaynaklı engellerden biri olan çoklu rol üstlenme; "kadının hem anne hem eş hem birey ve hem de çalışan olarak birçok role sahip olması" anlamına gelmektedir (Korkmaz, 2014:10; 2016: 106). Bu nedenle, birçok kadın kurumsal merdiveni ilerletme olasılığını artıracak adımlar atmak için dezavantajlıdır (Lockwood, 2004:3). Bireysel kaynaklı bir diğer cam tavan engeli bireysel tercih ve algıdır. Kadınların alt düzey pozisyonların çoğunu oluşturduğu örgütlerde sahip oldukları cinsiyet özelliği örgütün başarı gereksinimleri ile tutarsız olarak algılanmaktadır. Kadınlar da olumsuz değerlendirmeleri ve klişeleri içselleştirebilir ve başarılı olamayacakları korkusuyla ilerleme fırsatlarını geri çevirebilirler (Foley vd., 2001:471-472; Downes vd., 2014: 133). Ayrıca kalıp yargılar nedeni ile de kadınlar, erkek gibi kadın olarak anılmak istemedikleri için yöneticilik görevini geri çevirebilirler (Karcıoğlu ve Leblebici, 2014:6). Örgütsel kaynaklı engeller; örgüt kültürü, örgüt politikası, mentor eksikliği ve informal ağları kullanmama olarak sıralanabilir. Örgütlerde, üst yönetim pozisyonuna gelebilmek için kişinin özel hayatını feda etmesi gerektiği vurgulandığı sürece, kadınlar bu pozisyonlarda azınlık olarak kalacaktır (Van Vianen ve Fischer, 2002:334). Örneğin çeşitliliğe gösterilen sınırlı ilgi ve hoşgörü, kadınlar için dışlayıcı bir ortama dönebilir (Dimovski vd., 2010:63) ya da erkekleri kurumsal güç pozisyonlarında tutabilir (Lockwood, 2004:2). Dolayısıyla cam tavanın bir başka göstergesi, kadınların ilerlemesinin örgüt kültürü tarafından engellenmesidir (Lockwood, 2004:2; Dimovski vd., 2010:62-63). Örgüt politikası, çalışanlara rehberlik eden ilkeler bütünüdür. Kadınlar toplumsal önyargılar sebebi ile iş başvurularında erkek adaylara göre farklı koşullara tabi tutulabilmektedir. Ayrıca, örgütlerin, performans değerlendirme ve ücret politikaları da kadınlar aleyhine eşitsiz uygulanabilmektedir. Bu tür uygulamaların her biri kadınlar için bir cam tavan engelidir (Karcıoğlu ve Leblebici, 2014:6). Etkili bir mentora sahip olmak özellikle yüksek yönetim statüsüne sahip kadınların ilerlemesinde yardımcı olan önemli bir stratejidir (Lewis ve Fagenson, 1995: 46; Ragins vd., 1998: 32; Knutson ve Schmidgall, 1999:65; Sabat ve Mishra, 2010:369). Ancak, mentor bulmak genellikle zor bir iştir. Örgüt kültürü genellikle gayri resmi mentorluk ilişkilerine elverişli değildir (Lewis ve Fagenson, 1995: 46). Bu durum da cam tavan sendromuna neden olan bir engel olarak ortaya çıkmaktadır. Örgütsel kaynaklı engellerin sonucusu olarak kadınların, erkeklerin örgütte iş ilişkileri geliştirmek için kullandıkları gayri resmi ağlara erişime sahip olmaması ve bu ağlardan dışlanmasıdır (Knutson ve Schmidgall, 1999:67; Lockwood, 2004:3). Toplumsal kaynaklı engeller mesleki ayırım ve stereotiplerdir. Toplumsal birtakım önyargılar nedeniyle meslekler cinsiyetlere göre ayrılmakta; bazı meslekler kadın, bazıları da erkek mesleği olarak görülmektedir. Örneğin; tamircilik, genel müdürlük, müfettişlik vb. işler erkek işleri olarak; hemşirelik, sekreterlik gibi işler ise kadın işleri olarak sınıflandırılmaktadır. Bu nedenle kadınlar, erkek meslekleri olarak görülen işlerde daha az tercih edilmektedirler (Karcıoğlu ve Leblebici, 2014:7-8). Stereotipler (önyargılar), algılayıcının bazı gruplar hakkındaki bilgi, inanç ve beklentilerini içeren bilişsel yapılardır. Çoğu erkek, kadınların liderlik pozisyonları

için kendilerinden daha az yetkin veya daha az uygun olduğunu varsaydığından, cinsiyete yönelik stereotipler en yaygın dış engeldir (Sabat ve Mishra, 2010:369). Cinsiyete yönelik stereotiplerde kadınlar erkeklerden daha pasif, uyumlu, duygusal, şefkatli ve bağımlı; erkekler ise daha hırslı, agresif, kendine güvenen, güçlü ve bağımsız bireyler olarak algılanmaktadır (Kelly vd., 1993:23; Williams vd. 1999: 513-514; 23; Rudman ve Phelan, 2008: 62-64; Smith vd., 2012:1). Kadınlar hakkında stereotipler kadının çalışma hayatına ket vurduğu gibi, kadınların yöneticilik rolleri için uygun olabileceği düşüncesini de engellemektedir (Korkmaz, 2014: 10; 2016:107).

### 1.3. Cam Tavan Nedenleri ve Sonuçları

Boone vd. (2013:230), küresel endüstri lideri şirket yöneticileri ile cam tavan engelleri üzerine bir araştırma yapmışlardır. Araştırma sonucunda en yaygın bireysel engellerin iş yaşamı dengesi; iş yeri engellerinin ise mentor eksikliği, kariyer planlamasının olmaması, stereotipler olduğu sonucuna ulaşmışlardır (Boone vd., 2013:230). Dimovski vd. (2010), Singapurlu ve Malezyalı orta düzey kadın yöneticilerden oluşan bir örnekleme cam tavan engellerini araştırmıştır. Örgütlerin kültürü kadın yöneticilerin terfisini engellemekte ve kadın yöneticiler ağ oluşturma, mentorluk gibi kariyer gelişimi için gerekli fırsatlara sahip olamamaktadırlar (Dimovski vd., 2010:61). Mathur-Helm (2006: 311), Güney Afrika'nın dört büyük perakende bankasındaki cam tavan olgusunun gerçekliğini incelemiştir. Sonuçlar, cam tavanın gerçek olduğunu ve üst yönetim kademelerinde yer alan kadın sayısının az olduğunu göstermektedir.

Cam tavan, örgütlerdeki çalışanların iş tatminini etkilemektedir. Örgütte yüksek seviyeli cam tavanla karşılaşan kadın çalışanlar, performanslarının karşılığını alamadıklarını düşünmekte ve iş tatminleri azalmaktadır (Khan vd., 2012: 59). Balasubramanian ve Lathabhavan (2018:72) kadın çalışanlarda cam tavan inançları ile iş tatmini arasındaki ilişkiyi, işe bağlılığın aracılık rolü aracılığıyla incelemişlerdir. Cam tavan inançları ile iş tatmini arasındaki ilişkide işe bağlılığın aracı rolü olduğu tespit edilmiştir.

Örgütlerde alt düzeydeki kadın yöneticiler cinsiyet nedeniyle üst yönetime ulaşma fırsatının sınırlı olduğunu algıladıklarında (Dreher, 2003: 542) ya da erkek meslektaşlarına yönelik terfi kararları verildiğinde motivasyonlarını kaybedebilirler (Luksyte ve Spitzmueller, 2011: 258). Channar (2011:177), sağlık kurumlarında cinsiyet ayrımcılığının örgütsel sonuçlarını araştırmıştır. Sonuçlar, cinsiyet ayrımcılığının çalışanların motivasyonunu, örgüte bağlılığını azalttığını; stres düzeyini artırdığını göstermektedir.

### 1.4. Erillik / Dişillik

Kadınlara erkekler arasındaki biyolojik farklar dünyanın çoğu yerinde aynıdır. Fakat kadınların ve erkeklerin toplumsal rollerinin sadece bir kısmı biyolojik kısıtlamalarla belirlenebilmektedir ve toplumlara özgüdür (Hofstede vd. 2010: 137). Hofstede bu farklılıkları toplumlar açısından "erillik" ve "dişillik" olarak isimlendirmiştir. Hangi davranışların herhangi bir cinsiyete ait olduğu bir toplumdan diğerine farklılık göstermektedir.

Hofstede (2010: 139), toplumların hangi kriterlere göre eril ya da dişil sayılacağını belirleyebilmek için aşağıdaki öğeleri tanımlamıştır.

Eril kutup için:

e-ISSN: 2148-2683

- **Kazanç:** yüksek kazanç elde etmek için bir fırsata sahip olmak
- **Tanınma:** İyi bir iş yapıldığında hak edilen takdiri almak
- **İlerleme:** daha üst düzey işlere ilerleme fırsatına sahip olmak
- **Zorluk:** kişisel bir başarı duygusu edinilebilecek zorlu bir iş yapmak

Dişil kutup için (Hofstede vd. 2010: 139):

- **Yönetici:** Amirle iyi bir çalışma ilişkisine sahip olmak
- **İş birliği:** Birbirleriyle iyi iş birliği yapan insanlarla çalışmak
- **Yaşam alanı:** Kişinin kendisi ve ailesi için arzu edilen bir alanda yaşaması
- **İstihdam Güvenliği:** Kişinin istediği sürece çalışabileceği güvenceye sahip bir işinin olması

Eril toplumlarda; atılganlık, rekabet, maddi kazanç gibi değerlere önem verilmektedir. Bu kültürlerde para kazanmak, başarı ve yüksek performans önemli değerlerdir. Dişil kültürlerde ise daha ılımlı ve duyarlı olmak, merhametli olmak, insan ilişkilerine paradan çok önem vermek, diğer insanlara yardım etmek baskın değerlerdir (Hofstede, 1980b: 42-63; Hofstede, 1991: 43).

Toplumsal hayatta kadının yapamayacağı işler ve dolayısıyla gerçekleştirilemeyeceği roller olduğu kabul edilmektedir (Güney, 2012: 178). Erkeklerin ve kadınların belirli mesleklere göre dağılımında da bu toplumsal rol beklentileri hakimdir. Eril kültürlerde farklı cinsiyetler için farklı roller öngörülmekteyken, dişil kültürlerde cinsiyet rollerinin birbirine daha yakın olduğu bilinmektedir (Erkenekli, 2014: 578). Örneğin, dişil toplumlarda bir kadının kamyon şoförü veya hukukçu olması, bir erkeğin de balet veya ev erkeği olması normal karşılanabilmektedir. Buna göre, kadınlar Rusya'da doktor, Belçika'da diş hekimi ve Batı Afrika'nın bazı bölgelerinde esnaf olabilmektedir. Eril kültüre sahip olan toplumlarda ise, kadın ve erkek rolleri arasında kesin bir ayırım yapılmaktadır (Hofstede 1991a: 85). Kadın yöneticiler Japonya'da yok denecek kadar azdır (Hofstede 2010: 137-138).

Kadınlar çalışma yaşamında birtakım engellerle karşılaşabilmektedir. Bu engeller, kadınların toplumsal rolleri bu rollere uygun beklentilerle iş yaşamının bağdaşmaması, belirli mesleklerin kadınlara kapalı olması, iş yaşamında yükselmelerinin engellenmesi olarak sıralanabilir (Gelegen, 2001: 27). Dolayısıyla eril değerleri yüksek olan toplumlarda kadınlar kariyer hayatlarında engellenebilir, onların yaptığı işler daha değersiz olarak görülebilir. Eşit olmayan istihdam uygulamaları söz konusudur. Dişil toplumlarda kadınlar da erkeklerin çalıştığı işlerde çalışabilir (Altay, 2006: 36).

### 1.5. Cam Tavan Algısı ve Erillik – Dişillik

Kadınların kariyerlerinin önündeki kurumsal engellerle ilgili söylemlerde erkek egemen bir kültüre atıfta bulunmaktadır. Üst düzey yöneticilerin büyük çoğunluğunun erkek olması, örgüt kültürlerinin hala erkek egemen norm ve değerlerin hakimiyetinde olduğu iddia edilmiştir. Bu erkeksi kültürler, cam tavanın temel unsurlarından birini oluşturmaktadır (VanVianen ve Fischer, 2002:316).

VanVianen ve Fischer (2002:316), üst yönetimde kariyer yapmak için kadınların güdülerini araştıran iki çalışma yapmıştır. Çalışmaların ana hipotezi, kadınların erkeklere kıyasla kültür tercihleri nedeniyle yönetim pozisyonlarına, özellikle üst yönetim pozisyonlarına daha az ilgi duyacakları şeklindedir. Birinci çalışmanın amacı (N=327), yönetim pozisyonlarındaki çalışanların kültür tercihlerinin yönetici olmayanlara göre daha erkeksi olacağı yönündeki varsayımı test etmektir. Sonuçlar, cinsiyet farklılıklarının sadece yönetici olmayan gruplarda olduğunu, kadınların erkeklerden daha az erkeksi kültür tercihleri olduğunu göstermiştir. Yöneticiler, geleneksel erkeksi rekabet, çaba ve iş baskısı değerlerini, bir yönetim pozisyonu işgal etmeyen çalışanlardan daha önemli olarak değerlendirmiştir. Her iki çalışmada da, tüm örgüt düzeylerinde çalışanlar tarafından dışıl örgütsel değerlerin eril değerlere tercih edildiği saptanmıştır. Bu, yönetim seviyelerindeki bireylerin ağırlıklı olarak eril değerlere bağlı kaldığına dair yaygın görüşle çelişmektedir. İkinci çalışmada (N = 350), kültür tercihlerinin, yönetici olmayanların ve orta düzey yöneticilerin bir devlet kurumunda üst yönetim düzeyinde bir kariyer peşinde koşma istekleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Sonuçlar, örgütsel kültür tercihlerinin yönetici olmayan çalışanların hırsları için öngörücü olduğunu, ancak orta düzey yöneticilerin tutkusu için öngörücü olmadığını göstermiştir. Genel olarak, kadınlar erkeklerden daha az hırslıydı ve hırslı kadınlar bile iş-ev çatışmasını kariyer gelişiminin önünde önemli bir engel olarak algılamışlardır (Van Vianen ve Fischer, 2002:316,332).

## 2. Materyal ve Metot

Bu araştırmanın amacı, Türkiye’de inşaat sektöründe çalışan mimar ve inşaat mühendislerinin cam tavan algılarının erillik/dişillik kültür boyutu özellikleri açısından belirlenmesidir. Araştırma, mevcut durumu ortaya koymasından, tanımsal türde nitelendirilebilir. Ülkemizin lokomotif sektörlerinden biri olan inşaat sektöründe çalışan mimar ve mühendislerin mesleki ayrıma maruz kalabilecek meslek gruplarından olduğu düşünülmektedir. Çünkü inşaat sektöründe hem kadın çalışan sayısı azdır hem de daha düşük pozisyonlarda çalıştırılmaktadır. Bu nedenle araştırmanın ana kütlesini Türkiye’de özel sektörde çalışan mimar ve inşaat mühendisleri oluşturmaktadır. Örneklemede tesadüfi olmayan örnekleme yöntemlerinden kolayda örnekleme yöntemi tercih edilmiştir. Bu kapsamda, Mart 2021’de özel sektörde çalışan 122 mimar ve inşaat mühendisinden anket yöntemiyle veri toplanmıştır. Küresel pandemi koşulları nedeniyle yüz yüze anket toplamak mümkün olmadığından veriler, yine nicel bir yöntem olan, online anket yöntemiyle toplanmıştır. Veri toplama araçları olarak ölçeği ile demografik sorular kullanılmıştır. Örgütsel kültür ve örgütsel bağlılık 5’li Likert tipi ölçekle ölçülmeye çalışılmıştır. Veri analizinde kullanılan istatistiksel yöntemler; frekans dağılımları, güvenilirlik analizi, tek yönlü varyans analizi (ANOVA testi), bağımsız gruplar t testi ve Pearson Korelasyon analizidir. Araştırma kapsamında test edilen hipotezler şunlardır:

H<sub>1</sub>: İnşaat mühendisleri ve mimarların cam tavan algıları cinsiyete göre anlamlı bir farklılık göstermektedir.

H<sub>2</sub>: İnşaat mühendisleri ve mimarların cam tavan algıları mesleğe göre anlamlı bir farklılık göstermektedir.

H<sub>3</sub>: İnşaat mühendisleri ve mimarların erillik kültür özellikleri cinsiyete göre anlamlı bir farklılık göstermektedir.

H<sub>4</sub>: İnşaat mühendisleri ve mimarların erillik kültür özellikleri mesleğe göre anlamlı bir farklılık göstermektedir.

H<sub>5</sub>: İnşaat mühendisleri ve mimarların cam tavan algısı ile erillik kültür özellikleri arasında pozitif yönlü ve anlamlı bir ilişki vardır.

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Anketi cevaplayanların demografik yapılarını ortaya koymak üzere frekans dağılımları incelenmiştir. Sonuçlar Tablo 1’deki gibidir.

Tablo 1. Katılımcıların Demografik Özelliklere Göre Dağılımı

		Frekans	Yüzde
<b>Cinsiyet</b>	Kadın	73	59,8
	Erkek	49	40,2
<b>Yaş</b>	18-25 yaş arası	31	25,4
	26-35 yaş arası	54	44,3
	36-45 yaş arası	30	24,6
	46-55 yaş arası	6	4,9
	66 yaş ve üzeri	1	0,8
<b>Öğrenim Durumu</b>	Lisans	83	68
	Yüksek Lisans	31	25,4
	Doktora	8	6,6
<b>Meslek</b>	Mimar	68	55,7
	İnşaat Mühendisi	54	44,3
<b>Aylık Gelir</b>	0-2.000 TL	15	12,3
	2.001-4.000 TL	42	34,4
	4.001-6.000 TL	15	12,3
	6.001-8.000 TL	25	20,5
	8.001-10.000 TL	12	9,8
	10.001 TL ve üzeri	13	10,7

Tablo 1’de görüldüğü üzere, katılımcıların %59,8’i (73 kişi) kadın, %40,2’si (49 kişi) erkek; %25,4’ü (31 kişi) 18-25 yaş aralığında, %44,3’ü (54 kişi) 26-35 yaş aralığında, %24,6’sı (30 kişi) 36-45 yaş aralığında, %4,9’u (6 kişi) 46-55 yaş aralığında, %0,8’i (1 kişi) 66 yaş ve üzeri yaş aralığında; %68’i (83 kişi) lisans mezunu, %25,4’ü (31 kişi) yüksek lisans mezunu, %6,6’sı (8 kişi) doktora mezunu; %55,7’si mimar, %44,3’ü (54 kişi) inşaat mühendisi; %12,3’ü (15 kişi) 0-2.000 TL, %34,4’ü (42 kişi) 2.001-4.000 TL, %12,3’ü (15 kişi) 4.001-6.000 TL, %20,5’i (25 kişi) 6.001-8.000 TL, %9,8’i (12 kişi) 8.001-10.000 TL ve %10,7’si (13 kişi) 10.001 TL ve üzeri aylık gelire sahiplerdir.

Cam tavan algısının alt boyutlarını belirlemek üzere keşfedici faktör analizi uygulanmıştır. Faktör analizinde temel bileşenler yöntemi ve varimax döndürme yöntemi kullanılmıştır. Alt boyutların güvenilirlikleri Alpha metoduyla ölçülmüştür. Analiz sonuçları Tablo 2’de görülmektedir.

Tablo 2. Cam Tavan Algısına İlişkin Keşfedici Faktör ve Güvenilirlik Analizi

Faktör	İfade	Faktör Yüğü	Açıklanan Varyans	Güvenilirlik Katsayısı
Toplumsal Engeller (Stereotipler ve Mesleki Ayrım)	CT27	0,847	23,499	0,919
	CT35	0,839		
	CT30	0,821		
	CT33	0,804		
	CT32	0,753		
	CT28	0,739		
	CT29	0,733		
	CT8	0,567		
Örgütsel Engeller (Örgüt Kültürü ve Politikaları, İnfomal Ağları Kullanmama)	CT12	0,802	22,461	0,883
	CT17	0,755		
	CT13	0,737		
	CT11	0,736		
	CT25	0,713		
	CT19	0,698		
	CT20	0,687		
	CT24	0,631		
	CT23	0,597		
	CT21	0,550		
Bireysel Engeller (Çoklu Rol Üstlenme)	CT2	0,865	14,123	0,832
	CT3	0,854		
	CT1	0,723		
	CT34	0,599		
Kaiser-Meyer-Olkin Örnekleme Yeterliliği: 0,848				
Bartlett Küresellik Testi p Değeri: 0,000				

Tablo 2’de görüldüğü üzere, veri faktör analizine uygundur (KMO= ,848). Cam tavan algısı toplumsal engeller, örgütsel engeller ve bireysel engeller olmak üzere 3 alt boyuttan oluşmaktadır. Varyansın %60,083’ü bu üç boyut tarafından açıklanmaktadır. Her üç boyutun da güvenilir olduğu görülmektedir (Cronbach’s Alpha $\geq$ 0,70).

Erillik/dışılık kültür boyutunun keşfedici faktör analizi sonucunda 5 ifadenin tek boyut altında toplandığı görülmüştür. Ölçeğin güvenilirlik katsayısı 0,881 olarak tespit edilmiştir.

Cam tavan algısının ve erillik/dışılık kültür özelliklerinin anketi cevaplayanların cinsiyet özelliklerine göre farklılık gösterip göstermediğini belirlemek üzere bağımsız gruplar t testi uygulanmıştır. Sonuçlar Tablo 3’te görülmektedir.

Tablo 3. Cam Tavan ve Erillik Kültür Boyutu Algılarının Anketi Cevaplayanların Cinsiyet Özelliklerine Göre Farklılığı

	Cinsiyet	N	Ortalama	Standart Sapma	t	p
Toplumsal Engeller (Stereotipler ve Mesleki Ayrım)	Kadın	73	2,1607	0,59794	-4,307	0,000
	Erkek	49	1,4897	0,97428		
Örgütsel Engeller (Örgüt Kültürü ve Politikaları, İnfomal Ağları Kullanmama)	Kadın	73	2,9388	0,73910	3,714	0,000
	Erkek	49	3,5110	0,89229		
Bireysel Engeller	Kadın	73	2,4490	0,84873	-2,000	0,048
	Erkek	49	2,1062	1,03579		
Erillik	Kadın	73	1,8000	0,79303	-4,094	0,000
	Erkek	49	2,5265	1,05885		

Tablo 3’te görüldüğü üzere, cam tavan algıları ve erillik kültür boyutu özellikleri anketi cevaplayanların cinsiyet özelliklerine göre farklılık göstermektedir (p<0,05).

Cam tavan algısı ve erillik kültür boyutu algısının anketi cevaplayanların yaşına göre farklılık gösterip göstermediğini belirlemek üzere tek yönlü varyans analizi (ANOVA testi) uygulanmıştır. Analiz sonucunda yaşa göre anlamlı bir farklılık tespit edilmemiştir.

Cam tavan algısı ve erillik kültür boyutu algısının anketi cevaplayanların öğrenim durumuna göre farklılık gösterip göstermediğini belirlemek üzere tek yönlü varyans analizi

(ANOVA testi) uygulanmıştır. Analiz sonucunda öğrenim durumuna göre anlamlı bir farklılık tespit edilmemiştir.

Cam tavan algısı ve erillik kültür boyutu algısının anketi cevaplayanların inşaat mühendisi veya mimar oluşlarına göre farklılık gösterip göstermediğini belirlemek üzere bağımsız gruplar t testi uygulanmıştır. Test sonuçları Tablo 4’te özetlenmiştir.

Tablo 4. Cam Tavan ve Erillik Kültür Boyutu Algılarının Anketi Cevaplayanların Mimar veya İnşaat Mühendisi Oluşlarına Göre Farklılığı

	Meslek	N	Ortalama	Standart Sapma	t	p
Toplumsal Engeller (Stereotipler ve Mesleki Ayrım)	Mimar	68	1,6912	0,81910	-1,009	0,315
	İnşaat Mühendisi	54	1,8449	0,85607		
Örgütsel Engeller (Örgüt Kültürü ve Politikaları, İnfomal Ağları Kullanmama)	Mimar	68	3,3162	0,81783	0,510	0,611
	İnşaat Mühendisi	54	3,2370	0,89174		
Bireysel Engeller	Mimar	68	2,2426	0,90909	-0,016	0,987
	İnşaat Mühendisi	54	2,2454	0,98514		
Erillik	Mimar	68	2,0294	0,96089	-0,794	0,429
	İnşaat Mühendisi	54	2,1704	0,99159		

Tablo 4'te görüldüğü üzere, cam tavan ve erillik kültür boyutu algıları anketi cevaplayanların mimar veya inşaat mühendisi oluşlarına göre farklılık göstermemektedir ( $p>0,05$ ).

Cam tavan algısı ve erillik kültür boyutu algısının anketi cevaplayanların gelirine göre farklılık gösterip göstermediğini belirlemek üzere tek yönlü varyans analizi (ANOVA testi)

uygulanmıştır. Analiz sonucunda gelire göre anlamlı bir farklılık tespit edilmemiştir.

Araştırmada kullanılan ölçeklerin, alt ölçeklerinin kendi aralarında ve birbirleriyle gösterdiği ilişkileri ortaya koyabilmek amacıyla Pearson Korelasyon analizi kullanılmıştır. Analiz sonucunda elde edilen korelasyon katsayılarına Tablo 5'de yer verilmiştir.

Tablo 5. Anketi Cevaplayanların Cam Tavan ve Erillik Algıları Arasındaki İlişkiler

		Toplumsal Faktörler	Örgütsel Faktörler	Bireysel Faktörler	Erillik
Toplumsal Faktörler	Korelasyon katsayısı		0,264	0,521	0,738
	(p)		0,003	0,000	0,000
Örgütsel Faktörler	Korelasyon katsayısı	0,264		0,081	0,307
	(p)	0,003		0,374	0,001
Bireysel Faktörler	Korelasyon katsayısı	0,521	0,081		0,529
	(p)	0,000	0,374		0,000
Erillik	Korelasyon katsayısı	0,738**	0,307	0,529	
	(p)	0,000	0,001	0,000	

Tablo 5'de boyutlar arasındaki korelasyonlar incelendiğinde, cam tavanın boyutlarından biri olan toplumsal faktörler ile erillik kültür boyutu algısı arasında 0,738'lik pozitif bir ilişki bulunduğu görülmektedir.

Elde edilen bulgular doğrultusunda araştırma hipotezlerinin kabul/reddedilme durumları Tablo 6'da özetlenmiştir.

Tablo 6. Kabul/Reddedilen Araştırma Hipotezleri

Araştırma Hipotezi	Kabul/Ret
H <sub>1</sub> : İnşaat mühendisleri ve mimarların cam tavan algıları cinsiyete göre anlamlı bir farklılık göstermektedir.	Kabul
H <sub>2</sub> : İnşaat mühendisleri ve mimarların cam tavan algıları mesleğe göre anlamlı bir farklılık göstermektedir.	Ret
H <sub>3</sub> : İnşaat mühendisleri ve mimarların erillik kültür özellikleri cinsiyete göre anlamlı bir farklılık göstermektedir.	Kabul
H <sub>4</sub> : İnşaat mühendisleri ve mimarların erillik kültür özellikleri mesleğe göre anlamlı bir farklılık göstermektedir.	Ret
H <sub>5</sub> : İnşaat mühendisleri ve mimarların cam tavan algısı ile erillik kültür özellikleri arasında pozitif yönlü ve anlamlı bir ilişki vardır.	Kabul

## 5. Sonuçlar

Dünya üzerinde cam tavan algıları ve erillik/dişillik kültür boyutu ile ilgili yapılan çalışmaların sonuçları incelendiğinde; birçok sektörde olduğu gibi inşaat sektöründe de kadınların mesleklerinde ilerleme kaydetmelerine rağmen halen üst düzey yöneticilik pozisyonlarında çok az pozisyon bulunduğu, kadına yönelik olumsuz tutumlara ve yaygın cinsiyet ayrımcılığına değinildiği görülmektedir.

Son yıllarda yapılan çalışmalarda cam tavan kavramı sıklıkla araştırma konusu olmuştur. Çalışanlar kariyerleri boyunca çeşitli engellerle karşılaşmaktadır. Ancak kadınların karşılaştığı engeller erkeklerin karşılaştığı engellere nazaran daha fazladır. Karşılaşılan bu engellerin bir kısmı direkt olarak işin kendisinden kaynaklanmakta bir kısmının da sosyal nedenleri vardır. Örgütte mentor eksikliği ve erkekler arasındaki sosyal ağ, kadınların örgüt içindeki kariyerini engellerken, aynı zamanda iş-ev dengesi kaygıları ve çalışan kadınlara yönelik yaklaşımlardan da olumsuz etkilenmektedir (Gökhan, 2020).

Türk inşaat sektöründe çalışan mimarların ve inşaat mühendislerinin cam tavan algılarının erillik kültür boyutu algıları açısından belirlenmesidir. Yapılan analizler sonucunda mimarların ve inşaat mühendislerinin cam tavan algılarının oluşmasına engel teşkil eden 3 faktör bulunmaktadır. Bu faktörlerden olan toplumsal (stereotipler ve mesleki ayırım) ve bireysel engeller (çoklu rol üstlenme) boyutlarının kadınlarda erkeklere göre daha yüksek; örgütsel engeller (örgütsel kültür ve politikalar, informal ağları kullanmama) boyutunun ise erkeklerde kadınlara göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Araştırmada tespit edilen bu sonuçlar Boone vd. (2013)'nin ve Dimovski vd.'nin (2010), farklı zamanlarda yapmış oldukları araştırma sonuçları ile paraleldir. Anketi cevaplayanların erillik algılarının erkeklerde daha yüksek olduğu saptanmıştır. Diğer taraftan ankete katılım sağlayan bireylerin mimar veya inşaat mühendisi olmalarının cam tavan ve erillik kültür boyutu algıları açısından bir farklılık ortaya çıkarmadığı saptanmıştır. Mimarlık ve inşaat mühendisliği alanları birbiriyle yakın ilişkiler barındıran meslek grupları olduğundan böyle bir bulguya ulaşıldığı düşünölmektedir. Yapılan literatür araştırmasında ise araştırmanın bu bulgusunu destekleyen ve karşı çıkan çalışmalara rastlanılmamıştır.

Türkiye'de inşaat sektöründe çalışan mimarların ve inşaat mühendislerinin cam tavan ve eril kültür algıları arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Tespit edilen veriler sonucunda toplumdaki eril kültür algısı arttıka cam tavanın boyutlarından biri olan toplumsal engeller (stereotipler ve mesleki ayırım) algısının da artacağı saptanmıştır. Elde edilen bu sonuç, kadın ve erkeğe toplum tarafından biçilen roller ile açıklanabilir. Toplumda dişil kültürlerde cinsiyet rolleri birbirine daha yakinken, eril kültürlerde ise farklı cinsiyetler için farklı roller öngörülmektedir (Erkenekli, 2014: 578). Buna göre, dişil toplumlarda bir kadının kamyon şoförü veya hukukçu olması, bir erkeğin de balet veya ev erkeği olması normal karşılanabilmektedir. Eril kültüre sahip olan toplumlarda ise, kadın ve erkek rolleri arasında kesin bir ayırım yapılmaktadır (Hofstede 1991a: 85). Bu roller doğrultusunda eril kültür algısının artması kadın çalışanlara karşı sahip olunan önyargıları arttırabilmektedir.

Örgütlerde eril kültür algılarını azaltmak ve cam tavan engellerini kırmak için toplumsal farkındalık yaratabilmek adına toplumsal cinsiyet eşitliğini ve kadınların ön yargı ile yaklaşılan

meslek gruplarında yer alması gerekliliğini vurgulayan projeler üretilmeli, cinsiyet ayrımcılığının engellenmesine yönelik gerekli yasal düzenlemeler oluşturulmalı ve uygulanmalıdır. Örgütlerde eril kültür algılarını azaltmak ve cam tavan engellerini kırmak için toplumsal farkındalık yaratabilmek adına toplumsal cinsiyet eşitliğini ve kadınların ön yargı ile yaklaşılan meslek gruplarında yer alması gerekliliğini vurgulayan projeler üretilmeli, cinsiyet ayrımcılığının engellenmesine yönelik gerekli yasal düzenlemeler oluşturulmalı ve uygulanmalıdır. Örgütler, iş-ev dengesini korumalarına yardımcı olmak için esnek çalışma saatleri sunarak kadın çalışanlara ilerleme fırsatı da sunabilir. Mentorluk ve gelişim programları, kadınların ve erkeklerin eşit olarak yararlandığı bir araç olarak kullanılabilir. Kadın alışanlar yönetimde kendilerini geliştirmeli ve örgüt iyileştirme süreçlerini desteklemelidir (Gökhan, 2020).

Cam tavan konusunun mesleki ayrımcılığa maruz kalınabilecek meslek grupları özelinde ele alınması çalışmanın önemini ortaya koymaktadır. Bu anlamda çalışma bulguları bazı kayda değer sonuçlara işaret etse bile, gelecek araştırmalarda ele alınabilecek bazı eksiklikler bulunmaktadır. Bu çalışmada kesitsel bir tasarım kullanılmıştır. Gelecekteki araştırmaların, mevcut araştırmanın değişkenleri arasındaki ilişkilere zaman içindeki değişimi ortaya çıkarabilmek boylamsal tasarımlar kullanılabilir. Bu araştırmada özel sektörde çalışan 122 mimar ve inşaat mühendisine anket uygulanmıştır. Bundan sonraki araştırmalar benzer ya da farklı meslek gruplarından daha yüksek sayıda katılımcı ile yapılabilir. Sonraki araştırmalarda cam tavan algısı toplumsal cinsiyet rollerinin etkisi ve iş-yaşam dengesi gibi konular ile birlikte ele alınabilir.

## Kaynakça

- Altay,H. (2006). Kariyer ve Kültür: Kariyer Desteklemede Temel ve Destekleyici Fonksiyonlar: İş, Güç Endüstri İlişkileri ve İnsan Kaynakları Dergisi, 8(1).
- Balasubramanian, S.A. & Lathabhavan, R. (2018), Linking women's glass ceiling beliefs and employee satisfaction: the mediation of engagement, International Journal Human Resources Development and Management 18(1-2), 72-90.
- Bendl, R. ve Schmidt, A. (2010). From 'Glass Ceilings' to 'Firewalls' — Different Metaphors for Describing Discrimination. Gender, Work and Organization, 17(5), 612-634.
- Boone, J., Veller, T., Nikolaeva, K., Keith, M., Kefgen, K.ve Houran, J. (2013). Rethinking a Glass Ceiling in the Hospitality Industry, Cornell Hospitality Quarterly, 54, 230-239.
- Cannings, K. (1988). Managerial Promotion: The Effects of Socialization, Specialization, and Gender, ILR Review, 42(1), 77-88.
- CASCIO, F. Wayne (1991). Managing Human Resource: Productivity, Quality of Work Life and Profits (3rd ed.), New York: McGraw Hill
- Channar, Z.A. (2011). Gender Discrimination in Workforce and its Impact on the Employees Pakistan, Journal of Commerce and Social Sciences, 5 (1), 177-191.
- Chenevert D. and Tremblay, M. (2002). "Managerial career success in Canadian organizations: is gender a determinant?", International Journal of Human Resource Management, 13(6), pp. 920-41.
- Davies-Netzley, S.A. (1998) 'Women above the glass ceiling: perceptions on corporate mobility and strategies for success', Gender & Society, 12, pp.339-355.
- Dimovski, V.; Skerlavaj, M. Man, M.M.K. (2010). Comparative Analysis Of Mid-Level Women Managers Perception Of The



- Existence Of Glass Ceiling In Singaporean And Malaysian Organizations. *International Business & Economics Research Journal (IBER)*, 9(8), 61-78.
- Downes, M., Hemmasi, M., & Eshgh, G. (2014). When A Perceived Glass Ceiling Impacts Organizational Commitment And Turnover Intent: The Mediating Role Of Distributive Justice, *Journal of Diversity Management*, 9(2), 131-146.
- Dreher, G.F. (2003). Breaking the glass ceiling: The effects of sex ratios and work-life programs on female leadership at the top, *Human Relations* 56(5), 541-562.
- Erkenekli, M. (2014). *Toplumsal Kültür” Örgütsel Davranış içinde* (Editörler: Ünsal Sıgrı ve Sait Gürbüz), Beta, İstanbul.
- Fagenson, E.A. (1989), The Mentor Advantage: Perceived Career/Job Experiences of Proteges Versus Non-Proteges, *Journal of Organizational Behavior*, 10 (4), 309-320.
- Foley, S., Kidder, D.L. & Powell, G.N. (2002). The Perceived Glass Ceiling and Justice Perceptions: An Investigation of Hispanic Law Associates, *Journal of Management* 28(4). 471-496.
- Goodman, J. S., Fields, D. L., & Blum, T. C. (2003). Cracks in the Glass Ceiling. *Group & Organization Management*, 28 (4), December 2003 475-501.
- Gelegen, D.G. (2001). *Çalışma Yaşamında Kadın Olmak*, Türk Tabipleri Birliği Mesleki Sağlık ve Güvenlik Dergisi, Ocak, 27-30.
- Gökhan, M. (2020). The Effects Of Glass Ceiling Perception On Job Outcomes: A Research On Service Sector Employees, *Yüksek Lisans Tezi*, Bahçeşehir Üniversitesi,
- Güney, S. (2011). *Örgütsel Davranış*, Nobel Akademik Yayıncılık, İstanbul.
- HALAWI Ali H., “Stimuli and Effect of The Intention To Leave The Organization”, *European Scientific Journal*, 10(10), 2014.
- Hofstede, G. (1980) *Cultures Consequences*; International Differences in Work-Related Values, Beverly Hills, C.A., Sage Publications, Beverly Hills
- Hofstede, G. (1990a) *Cultures and Organizations: Software of the Mind*, The McGraw-Hill Book Company, London
- Hofstede, G. (2010) *Cultures and Organizations: Software of the Mind*, The McGraw-Hill Book Company, London
- Hu, T. Ve Myeong-Su, Y. (2008). "Is the Glass Ceiling Cracking? A Simple Test," *IZA Discussion Papers* 3518, Institute of Labor Economics (IZA).
- Jackson, J.C. (2001), “Women Middle Manager’s Perception of The Glass Ceiling”, *Women in Management Review*, 16(1), 30-41.
- Karacioğlu, F. ve Leblebici, Y. (2014). “Kadın Yöneticilerde Kariyer Engelleri:” *Cam Tavan Sendromu” Üzerine Bir Uygulama*”. *Ataturk University Journal Of Economics & Administrative Sciences*, 28(4).
- Kelly, E. P., Young, A. O., & Clark, L. S. (1993). Sex stereotyping in the workplace: A manager’s guide. *Business Horizons*, 36(2), 23-29.
- Knutson, B. J., & Schmidgall, R. S. (1999). Dimensions of the Glass Ceiling in the Hospitality Industry. *Cornell Hotel and Restaurant Administration Quarterly*, 40(6), 64-75.
- Korkmaz, H. (2016). “Yönetimde Kadın ve Cam Tavan Sendromu, Alternatif Politika Toplumsal Cinsiyet Özel Sayısı”. 95-112.
- Korkmaz, H. (2014). “Yönetim Kademelerinde Kadına Yönelik Cinsiyet Ayrımcılığı ve Cam Tavan Sendromu”. *Asos Journal*(5), 1-14.
- Lathabhavan, R. (2019). Glass ceiling beliefs, performance, and turnover intention through work engagement, *International Journal Environment, Workplace and Employment*, 5(4), 304-321.
- Lewis, A. E., & Fagenson, E. A. (1995). Strategies for developing women managers: how well do they fulfil their objectives? *Journal of Management Development*, 14(2), 39-53.
- Linehan M. (2002). “Senior female intenational managers: empirical evidence from Western Europe”, *International Journal of Human Resource Management*, 13 (5), pp. 802-14.
- Lookwood, N.R. (2004), *The Glass Ceiling: Domestic and International Perspectives*, *Research Quarterly, Human Resource Magazine Research Quarterly*, 1-49.
- Luksyte, A. Ve Spitzmueller, C. (2011). Overqualified Women: What Can Be Done About This Potentially Bad Situation? *Industrial and Organizational Psychology*, 4, 256-259.
- Meyerson, D. and Fletcher, J. (2000). “A modest manifesto for shattering the glass ceiling”, *Harvard Business Review*, 78(1), pp. 127-40.
- Murrell, A.J. and James, E. (2001) Gender and diversity in organizations: past, present, and future directions. *Sex Roles*, 45(4-5), 243-57.
- Ragins, B.R.; Townsend, B. & Mattis, M. (1998). Gender gap in the executive suite: CEOs and female executives report on breaking the glass ceiling, *Academy of Management Executive*, 12(1), 28-42.
- Roman, M. (2017). *Relationships Between Women 's Glass Ceiling Beliefs, Career Advancement Satisfaction, and Quit Intention*, Walden University, College of Social and Behavioral Sciences, doctoral dissertation.
- Rudman, L.A.& Phelan, J.E. (2008). Backlash effects for disconfirming gender stereotypes in organizations, *Research in Organizational Behavior* 28, 61-79.
- Sabat, S.N. & Mishra, S. (2010). Role of women in the management of police organisation: a paradigm shift, *International Journal of Learning and Change*, 4(4), 365-377.
- Sökmen, A. & Şahingöz, S.A. (2017). The Impact of Organizational Climate as a Glass Ceiling Reflector on Job Satisfaction and Turnover Intention of Female Employees: A Research in Hotel Operations, *İşletme Araştırmaları Dergisi*, 9(1), 113-133.
- Stroh, L.K., Brett, J.M. & Reilly, A.H. (1996). Family Structure, Glass Ceiling, and Traditional Explanations for the Differential Rate of Turnover of Female and Male Managers, *Journal Of Vocational Behavior* 49, 99-118.
- Schwartz, F.N. (1989). Management Women and The New Facts Of Life, *Women In Management Review & Abstracts*, 4(5), 5-14.
- Van Vianen, A.E.M. ve Fischer, A.H. (2002). Illuminating the glass ceiling: The role of organizational culture preferences, *Journal of Occupational and Organizational Psychology*, 75, 315-337.
- Weyer, B. (2006). Do multi-source feedback instruments support the existence of a glass ceiling for women leaders? *Women in Management Review* 21(6), 441-457.
- Williams, J. E., Satterwhite, R. C., & Best, D. L. (1999). Sex Roles, 40(7/8), 513-525.
- Yıldırım, M.H., Erul, E.E. ve Kelebek, P. (2014). Tükenmişlik ile işten ayrılma niyeti arasındaki ilişki banka çalışanları üzerine bir araştırma. *Organizasyon ve Yönetim Bilimleri Dergisi*, 6(1), 34-44.



# Gıdayla İlişkili COVID-19 Riskiyle Mücadelede Etkili Gıda Güvenliği Uygulamaları, Gıda İşletmelerinin ve Gıda Çalışanlarının Rolü

Seda Oğur \*

\* Bitlis Eren Üniversitesi, Sağlık Yüksekokulu, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, Bitlis, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-2041-0790), [ogursd@gmail.com](mailto:ogursd@gmail.com)

(İlk Geliş Tarihi 1 Haziran 2021 ve Kabul Tarihi 15 Ağustos 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.946158)

**ATIF/REFERENCE:** Oğur, S. (2021). Gıdayla İlişkili COVID-19 Riskiyle Mücadelede Etkili Gıda Güvenliği Uygulamaları, Gıda İşletmelerinin ve Gıda Çalışanlarının Rolü. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (27), 103-114.

## Öz

COVID-19 pandemisinin başlangıcında birçok yetkili otorite tarafından SARS-CoV-2'nin gıdalar ve gıda ambalajlarıyla bulaştığına dair kanıt olmadığı bildirilmesine rağmen, gıda ve/veya gıdayla temasta olan madde ve malzemelerin enfeksiyonun yayılmasında herhangi bir etkiye sahip olup olmadığı konusundaki endişeler halen sürmektedir. Zaman zaman yapılan çeşitli açıklamalarda virüsün pazarlarda satılan canlı hayvanlar, donmuş ürünler (kırmızı et, tavuk, su ürünleri vb.) tarafından yayılmış olabileceği, gıda ambalajlarında ve işleme yüzeylerinde belirli bir süre canlı kalabileceği belirtilince, COVID-19 pandemisine özel gıda güvenliği uygulamaları ve önlemleri belirli aralıklarla güncellenmiştir. Bu makalede SARS-CoV-2'nin insanlara bulaşmasına sebep olabilecek gıdayla ilişkili faktörler, pandemiyle mücadelede COVID-19'a özgü hijyen ve sanitasyon önlemleri, etkili gıda güvenliği uygulamaları ve pandemi sürecinde söz konusu konularda gıda işletmelerinin ve gıda çalışanlarının rolü ile ilgili güncel bilimsel çalışmalardan bahsedilmeye çalışılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** COVID-19, Pandemi, Gıda güvenliği.

## Effective Food Safety Practices, the Role of Food Businesses and Food Workers in Combating Food-Related COVID-19 Risk

### Abstract

Despite the fact that at the onset of the COVID-19 pandemic, many authorities reported that there was no evidence of SARS-CoV-2 being transmitted through foods and food packaging, concerns still remain as to whether food and/or food contact substances and materials have any effect on the spread of the infection. Food safety practices and precautions specific to the COVID-19 pandemic were updated certain intervals, when it was stated in various statements made from time to time that the virus may be spread by live animals sold in markets, frozen products (red meat, chicken, seafood etc.), could remain alive on food packaging and processing surfaces for a certain period of time. In this article have been mentioned from current scientific studies on food-related factors that may cause SARS-CoV-2 to be transmitted to humans, COVID-19-specific hygiene and sanitation measures in combating the pandemic, effective food safety practices, and the role of food businesses and food workers in the aforementioned issues and in the pandemic process.

**Keywords:** COVID-19, Pandemic, Food safety.

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

## 1. Giriş

Aralık 2019'da, Çin'de yeni bir zoonotik hastalık salgını olarak başlayan yeni tip koronavirüs (COVID-19), dünyanın birçok ülkesine hızla yayıldıktan sonra 11 Mart 2020'de Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) tarafından pandemi olarak ilan edilmiştir (WHO, 2020a). COVID-19'a SARS-CoV-2 beta-koronavirüs neden olmakta (WHO, 2020b), virüse maruziyetten 2-14 gün sonra semptomlar (ateş, öksürük, nefes darlığı, boğaz ağrısı, kas ağrıları (CDC, 2020a), tat ve koku kaybı (Bienkov, 2020)) gelişmektedir. Enfeksiyonların çoğu hafif olmasına rağmen, ilk raporlara göre vakaların %16'sında ciddi şekilde yaşamı tehdit eden hastalık geliştiğinden (NEHA, 2020) birçok ülkede virüsün bulaşma hızını azaltmak için tam veya kısmi kapanma uygulanmıştır.

Gıda; sağlık, enerji, iletişim sektörlerinin yanı sıra bir ülkenin kritik altyapısının bir parçası olarak kabul edildiğinden pandemi sırasında normal operasyonun sürdürülmesi gerekmektedir (CISA, 2020).

COVID-19 salgınının insanlar aracılığıyla yayılımının önüne geçilmesinde en büyük etken olan sosyal mesafenin sağlanması amacıyla bazı sektörlerde çalışan sayısının azaltılması, üretimin durdurulması gibi uygulamalara geçilirken şartları elverişli olan sektörlerdeki çalışanlar evlerinden çalışmaya başlamıştır. Gıda sektöründeki restaurant, cafe vb. küçük işletmelerde tam kapanma nedeniyle paket servis ve gel-al şeklinde satışa geçildiğinden dolayı eleman sayısı azaltılarak fabrika düzeyinde üretim yapan birçok işletmede ek önlemler alınarak (veya alınmaya çalışılarak) çalışanlar mevcut yerlerinde çalışmaya devam etmiştir. Hatta oluşan panik nedeniyle bazı gıdalarda stoklama yoluna gidilince, aynı çalışan sayısı ile stoklanan gıda ürünlerinin üretim miktarı arttırılmıştır. Bu işletmelerdeki gıda çalışanları daha uzun süre ve bazen izin kullanmadan çalışmak zorunda kalmıştır.

Türkiye'deki ulusal bir yayın organının 27/03/2020 tarihli haberinde, Türkiye Gıda Sanayi İşçileri Sendikası (Gıda-İş)'nin gıda sektöründe faaliyet gösteren işletmelerden 150-4000 arasında işçi çalıştıran 45 işyerinde alınan koronavirüs tedbirlerini inceleyerek alınmayan önlemlerden oluşan bir rapor hazırladığı bildirilmiştir. Raporda işletmelerin %70'inde üretimin arttığı, artan üretimin yine aynı sayıdaki işçilerle yapılması sebebiyle işçilerin çalışma saatlerinin uzadığı, işçilerin büyük çoğunluğunun kendilerini koronavirüse karşı güvende görmediği belirtilmiştir. İşletmelerde eldiven, maske vb. koruyucu malzemelerin yetersiz olduğu, bazı işletmelerde sabun, kağıt havlu vb. temizlik malzemelerinin yeterince bulunmadığı, üretim sürecinde sosyal mesafenin korunmadığı, işletmelerin %75'inde yemekhaneler, soyunma odaları gibi alanların dezenfekte edilmediği ya da bu işlemin olması gerektiği gibi değil, göstermelik olarak yapıldığı, fırınların, pastanelerin ve ekme satış büfelerinin %80'inde hijyen ve dezenfeksiyon koşullarına uyulmadığı ortaya çıkan bazı sonuçlar olmuştur. Bir işletmede, özel istihdam bürolarından paketleme, depolama ve makine temizliği için günlük olarak yevmiyeci işçi çalıştırılması ise dikkat çeken başka bir tespit olmuştur (Evrensel, 2020a).

Pandemi sürecinde gıda güvenliği yönetiminin sağlanmasında gıda çalışanlarının rolünün ne kadar önemli olduğu tartışılmazdır. Hammadde kabulünden nihai gıda ürününün son tüketiciye ulaşmasına kadar geçen bütün

aşamalarda COVID-19 riskinin oluşmaması ve her koşulda güvenli gıdaların üretilmesi onların elindedir. Bu sebeple uluslararası kuruluşlar, ulusal hükümetler ve yerel yöneticilerce hazırlanan kılavuzlarla gıda çalışanlarının COVID-19 pandemisindeki hastalık belirtileri, yayılım yolları, temel hijyen kuralları dışındaki bu hastalığa özel hijyen kuralları, işletme içinde alınması gereken özel önlemler, nakliye ve dağıtımda alınacak tedbirler, perakende satış yerlerinde alınması gereken tedbirler vb. konularda eğitilmeleri ve bilinçlendirilmeleri amaçlanmıştır.

Pandeminin ilk dönemlerindeki tarihlerde yapılan açıklamalarda (FDA, 2020a; WHO, 2020a; EFSA, 2020, ISDH, 2020) COVID-19'un gıdalar ve gıda ambalajlarıyla bulaştığına dair kanıt olmadığı bildirilmiştir. ABD Gıda ve İlaç Dairesi (FDA) 27/02/2020 tarihli bildirisinde COVID-19'un gıda ya da gıda ambalajı yoluyla bulaşabileceğini gösterir bir bilginin henüz olmadığını, ancak iyi hijyen uygulamalarının sağlanmasının bütün hastalıklardan korunmada her zaman önemli olduğu hususunu ifade etmiştir (FDA, 2020a). Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) 21/02/2020 tarihli raporunda COVID-19'un etkeni olan SARS-CoV-2 virüsünün gıda aracılığıyla bulaştığına dair bir kanıtın olmadığını, fakat benzer virüslerin ve bu virüsün de hayvansal kaynaklı çiğ gıdalarda bulunabileceği konusunda şüpheler olduğunu bildirmiştir (WHO, 2020a). Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi 08/04/2020 tarihli raporunda pandeminin büyük ölçekli olmasına rağmen, o güne kadar COVID-19'un gıda tüketimi yoluyla bulaşmasıyla ilgili herhangi bir rapor olmadığını belirtmiştir (EFSA, 2020).

AB Üye Devletleri'ndeki (Avustralya, Belçika, Bulgaristan, Hırvatistan, Kıbrıs, Çekya, Danimarka, Estonya, Finlandiya, Fransa, Almanya, Yunanistan, Macaristan, İrlanda, İtalya, Letonya, Litvanya, Lüksemburg, Malta, Hollanda, Polonya, Portekiz, Romanya, Slovakya, Slovenya, İspanya, İsviçre) ajanslar gıda işlemeden COVID-19'u almanın mümkün olmadığını ifade etmiştir (EC, 2020). ABD Indiana Eyaleti Sağlık Bakanlığı 19/03/2020 tarihli raporunda COVID-19'un gıdanın kendisi ya da ambalajı ile bulaşabileceğini öneren insan hastalıklarının herhangi bir raporunun şu anda farkında olmadıklarını bildirmiştir (ISDH, 2020).

Ancak sonraki aylarda yapılan bilimsel çalışmalarla (Middleton vd., 2020; Chin vd., 2020; Van Doremalen vd., 2020; Riddell vd., 2020; Harbourn vd., 2020, Kratzel vd., 2020; Pastorino vd., 2020; Oakenfull ve Wilson, 2020; Dyal vd., 2020; Blondin-Brosseau vd., 2020; Han vd., 2021; Matson vd., 2020) COVID-19 etkeni SARS-CoV-2'nin gıda ürünleri, gıda ambalajları ve gıda zinciri aracılığıyla ne şekilde taşınabileceği, gıda ve ilişkili faktörlerin (hammadde tedariki, personel, işleme yüzeyi ve yöntemi, dezenfeksiyon ve sanitasyon uygulamaları, ambalaj, nakliye vb.) hastalığın bulaşmasındaki ve yayılımındaki etkinliklerinin nasıl olduğu açıklanmıştır.

SARS-CoV-2'nin potansiyel gıda yoluyla bulaşmasının, enfekte hayvanlardan kaynaklanan gıdaların veya çapraz kontamine gıdaların tüketiminden kaynaklanabileceği öne sürülmüştür (Oakenfull ve Wilson, 2020).

Nakat ve Bou-Mitri (2021) pandeminin ilan edilmesinden itibaren COVID-19 ve gıda ile ilgili kavramlar (gıda endüstrisi, gıda güvenliği, tedarik zinciri, gıda güvencesi vb.) konularıyla ilişkili çalışmaların sayısının hızla arttığını gözlemlediklerini

belirtmiştir. Bu sonucun, COVID-19 ve gıda ilişkisi konusunun acil bir öncelik olduğunu, yeni normlar ve yönergeler geliştirmek için hızlandırılmış araştırmalara ihtiyaç duyulduğunu gösterdiği bildirilmiştir (Nakat ve Bou-Mitri, 2021).

Bu makalede COVID-19 enfeksiyonunun yayılımını tetikleyebilecek gıdalla ilişkili faktörlerden, yeni tip koronavirüsle mücadelede pandemiye özgü hijyen ve sanitasyon önlemlerinden, etkili gıda güvenliği uygulamalarından ve bu konularla ilgili pandemi sürecinde gıda işletmelerinin ve gıda çalışanlarının rolü hakkında bilgi veren güncel çalışmalardan bahsedilmiştir.

## 2. SARS-CoV-2'nin Gıda ve Gıda İşçileri ile İlgili Bulaşma Yollarına İlişkin Kanıtlar

Bir virüs tarafından gıda kontaminasyonunun genellikle şu şekillerde gerçekleştiği belirtilmiştir: Kabuklu deniz hayvanlarının büyüdüğü suyun veya hasattan sonra meyveyi yıkamak için kullanılan suyun kontaminasyonunu içerebilen üretim süreci sırasında, iyi hijyen uygulamalarına uymayan enfekte gıda işleyicileri tarafından veya zoonotik virüs içeren hayvansal kaynaklı ürünlerin tüketilmesiyle (Velevit vd., 2019).

Mevcut salgının merkez üssünün, hem canlı hem de doğrudan tüketim için çeşitli memeli hayvanların satıldığı Wuhan Deniz Ürünleri-Yaban Hayatı Hayvan Pazarı olduğu tescillendiğinden (Lam vd., 2020) çiftlik hayvanlarına SARS-CoV-2'nin bulaşması ve enfeksiyon sonucunda hayvan kaynaklı gıdalarda virüsün yayılmasıyla ilgili endişeler bulunmaktadır. Sığırlarda virüs replikasyonu ve serokonversiyonu gösterilmiştir, ancak sütte virüsün olası varlığı hakkında herhangi bir veri henüz mevcut değildir (Costa vd., 2020).

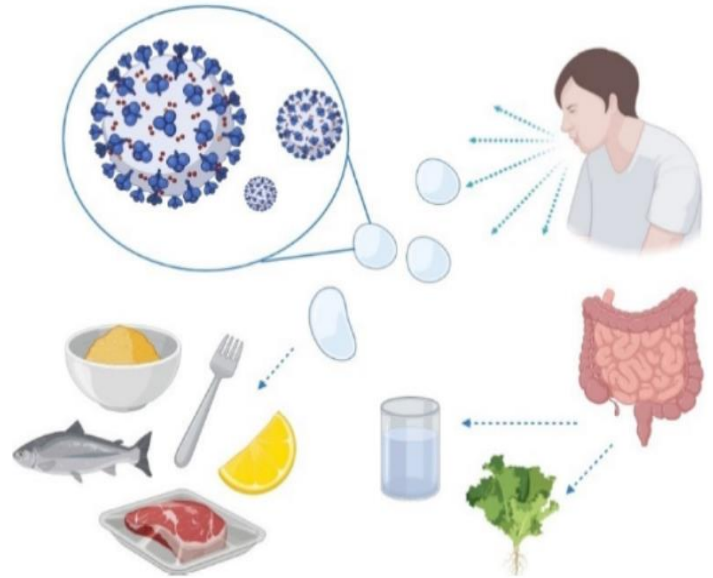
DSÖ'nün SARS-CoV-2'nin kaynağının tespit edilmesi amacıyla Wuhan kentinde yürüttüğü son çalışmalarla (2021 Ocak ayı ortalarında başlayıp yaklaşık 1 ay süren incelemeler) ilgili heyet başkanı ve gıda güvenliği uzmanı olan Peter Ben Embarek yaptığı açıklamada, virüsün insanlara nasıl geçtiğini bulmaya yönelik incelemelerinin dört teze odaklandığını söylemiştir. Embarek bu olasılıkları şöyle sıralamıştır: 1. Virüsün doğrudan hayvanlardan geçmesi, 2. Virüsün hastalığı taşıyıcı hayvan türlerinden bulaşması, 3. Virüsün donmuş ürünler yoluyla geçmesi, 4. Virüsün Wuhan'daki laboratuvarından yayılması. Peter Ben Embarek komplo teorilerinin odağında yer alan laboratuvar tezinin aşırı derecede düşük bir ihtimal olduğunu, daha fazla çalışma yapılması gerekse de ilk bulgulara göre ilk olası seçeneğin virüsün taşıyıcı bir hayvan üzerinden insanlara geçmiş olması olduğunu belirtmiştir. Ancak heyet virüsün hayvandan hayvana bulaştığına dair kanıtlara rastladıklarını bildirmiş olsa da, kamuoyu virüsün asıl kaynağının tespiti için çok geç kalındığını, bu kanıtın şu an için hiçbir şey ifade etmediğini belirtmiştir (BBC News, 2021).

DSÖ yaptığı incelemeler sonucunda canlı hayvan pazarlarının COVID-19 gibi bulaşıcı hastalıkların ortaya çıkmasına neden olabileceğini, bu tip yerlerin sağlık için risk yarattığını, özellikle vahşi hayvanların (vahşi memeliler) çoğunun yeni virüslerin ortaya çıkmasına neden olan tüm bulaşıcı hastalıkların %70'inden fazlasının kaynağı olduğunu açıklamıştır ve bu tip canlı hayvan pazarlarının acil olarak kapatılması çağrısında bulunmuştur. Bunun üzerine Birleşmiş Milletler Sağlık Kurumu 13/04/2021'de vahşi hayvanların koronavirüs gibi yeni ortaya çıkan bulaşıcı hastalıkların önde gelen kaynağı olduğunu

söyleyerek, ülkeleri gıda pazarlarında doğadan yakalanan canlı hayvanların satışını acil bir önlem olarak askıya almaya çağırmıştır (AP News, 2021).

Gıda tesislerindeki işçiler arasında COVID-19 salgınları meydana gelince hem tüketiciler hem de üreticiler gıda ürünlerinden endişe duymuştur. Örneğin; Temmuz 2020'de Çin, yeni vakaların varlığının SARS-CoV-2 salgınlarına karışan gıda paketleme ve işleme tesislerinden gıda ithalatıyla bağlantılı olduğunu değerlendirerek birçok ülkeden karides, somon, tavuk ve diğer donmuş gıda ithalatını askıya almıştır (Pang vd., 2020; Shenzhen Government, 2020). Ancak, SARS-CoV-2, Coronaviridae ailesinin ve sadece memelileri enfekte eden Betacoronavirus cinsinin bir parçası olduğu için (Lam vd., 2020), bu nedenle somon balığının COVID-19'un insanlara uygun işleme ve sanitasyon süreciyle yayılmasında epidemiyolojik rolü olmasının olası olmadığı ileri sürülmüştür (Bondad-Reantaso vd., 2020).

SARS-CoV-2'nin esas olarak insandan insana, genellikle enfekte olduğunda, öksürüp hapşırıldığında salgılanan solunum damlacıkları yoluyla yayıldığı (Leung vd., 2020), damlacıklar genellikle hava akımı ile taşındığı ve birkaç metre içinde düştüğü için, insanlar en az 2 m uzakta kalırsa bulaşma olasılığının azaldığı belirtilmektedir (CDC, 2020b; IDFA, 2020). Bu sebeple bir kişinin bir gıda veya gıda ambalajı ya da gıdanın işlendiği tezgah yüzeyine veya gıdalla ilişkili herhangi bir nesne üzerindeki kontamine damlacıklara dokunduktan sonra kendi yüzüne, ağızına, burnuna veya gözlerine dokunmasıyla COVID-19 kapmasının mümkün olabileceği bildirilmiştir (Şekil 1) (WHO, 2020b).



Şekil 1. SARS-CoV-2'nin Gıda veya Gıdalla İlişkili Kaynaklar ile Bulaşması

Mutfaklardaki gıda işleme uygulamalarıyla ilgili olarak, koronavirüslerle elde edilen kanıtlar pişirmede hayatta kalamayacaklarını, ancak yiyecekler yıkanmadan kalırsa ve daha sonra dondurulursa, virüsün dondurulmuş depolama sırasında 2 yıla kadar hayatta kalabileceğini göstermiştir (BfR, 2020).

Harbourt vd. (2020), SARS-CoV-2'nin domuz derisinde 37 °C'de 8 saat, 22 °C'de 96 saat ve 4 °C'de 14 gün boyunca stabil kaldığını bulmuştur. Blondin-Brosseau vd. (2020) SARS-CoV-2'nin elma ve domateslere aşılandıktan sonra 24. saatte virüs

tespit edilmediğini, salatalıklarda aşılardan 72 saat sonra bulaşıcılığını sürdürdüğünü kanıtlamışlardır.

Pung vd. (2020), üç COVID-19 kümesini bir konferans sırasında paylaşılan yemek uygulamasına bağlamış ve bilimsel topluluk COVID-19'un gıda yoluyla bulaşmasına yeniden odaklanmıştır (Han vd., 2021; Rizou vd., 2020).

Koronavirüslerin fekal-oral yolu domuz (Niederwerder ve Hesse, 2018), köpek (Decaro vd., 2009) ve sığır (Hasoksuz vd., 2007) gibi birçok hayvanda gösterildiğinden, kontamine gıda ve/veya suyun yutulması yoluyla bulaşma ihtimalinin olabileceği belirtilmiştir (Bosch vd., 2018).

Bu kanıtların ışığında, gıda zinciri yoluyla olası bulaşma ile ilgili endişeler son aylarda artmıştır. Ancak, kontamine gıda tüketimi ile hastalık arasında sabit bir bağlantı olmadığından SARS-CoV-2'nin gıda kaynaklı bir virüs olarak kabul edilemeyeceği bildirilmiştir (Ceniti vd, 2021).

SARS-CoV-2'nin insanlara giriş için bir alıcı olarak anjiyotensin dönüştürücü enzim 2 (ACE2)'yi kullandığı (Walls vd., 2020) ve viral reseptör ACE2'nin gastrointestinal epitel hücrelerinde bol miktarda ekspres edildiği bulunmuştur (Xiao vd., 2020). Bu bulgular, virüsün sindirim sisteminde var olabileceğini ve çoğalabileceğini göstermektedir, ancak SARS-CoV-2 ile kontamine gıda yemenin enfeksiyona neden olup olmadığı net değildir (Wong vd., 2020; Mungroo vd., 2020). Xiao vd. (2020) tarafından, fekal-oral geçiş viral yayılma için ek bir yol olabileceğinden virüsün yayılmasını kontrol etmek için fekal-oral geçişin önlenmesinin dikkate alınması gerektiği belirtilmiştir.

Dışkı atımı gösterilmiş olmasına rağmen (Van Doorn vd., 2020; Wu vd., 2020; Hu vd., 2020; Hindson, 2020), bugüne kadar esas olarak insan sindirim sisteminde meydana gelen bir enfeksiyon rapor edilmediğinden, gerçek bir fekal-oral yol kanıtlanmadığı ifade edilmiştir (Ceniti vd., 2021).

Enfekte bir gıda işçisinin virüsü kontamine gıda veya gıda ambalaj malzemesi yerine kişiden kişiye bulaşma yoluyla yaymasının daha olası ve COVID-19'un, gıda kirliliğinden çok iş güvenliği ve çalışan sağlığının korunmasıyla ilgili bir sorun olduğu belirtilmiştir (OSHA, 2020a). Ancak, toplumların büyük çoğunluğunda olduğu gibi, birçok ülkedeki gıda işçileri de COVID-19'a maruz kalmış ve bu maruziyetin bir süre daha devam edeceği görülmektedir.

ABD'de en az 462 et paketleme tesisinin, 257 gıda işleme tesisinin, 93 çiftlik ve üretim tesisinin ülkedeki COVID-19 vakalarından etkilendiği, en az 54.036 işçinin (39.905 et paketleme işçisi, 8.343 gıda işleme işçisi, 5.788 çiftçi) COVID-19 pozitif olarak tanımlandığı ve en az 232 işçinin (184 et paketleme işçisi, 34 gıda işleme işçisi, 14 çiftlik işçisi) hayatını kaybettiği rapor edilmiştir (Douglas, 2020).

Brezilya'da 18 belediye'deki 24 mezbahadan 2.400 et tesisi işçisi COVID-19 pozitif olarak belirlenmiştir. İngiltere ve Galler'deki birkaç et fabrikası, 246 pozitif vakanın ardından faaliyetlerini durdurmuştur. Gana'da bir balık işleme fabrikasındaki 534 personel virüs pozitif çıkmıştır. Almanya'daki et işleme tesislerinde 1.553 COVID-19 vakası bulunmuştur ve Fransa'daki mezbahalarda 100'den fazla koronavirüs enfeksiyonu kaydedilmiştir (BBC, 2020; Gulland, 2020; Kaur, 2020; Ziady vd., 2020).

ABD Hastalık Kontrol ve Önleme Merkezi (CDC), 19 eyaletteki 115 et ve kümes hayvanı işleme tesisinde ABD işçileri arasında 4.913 COVID-19 vakası ve 20 ölüm bildirmiştir (Dyal e-ISSN: 2148-2683

vd., 2020). Enfeksiyon riskini potansiyel olarak etkileyen tanımlanmış faktörlerin işyerinde fiziksel mesafe, hijyen, kalabalık yaşam ve ulaşım koşullarındaki zorluklar olduğu belirtilmiştir (CDC, 2020c; Dyal vd., 2020).

Nisan-Mayıs 2020'de 23 ABD eyaletinde bulunan 239 et ve kümes hayvanı işleme tesisinde işçiler arasında 16.233 vaka ve 86 COVID-19 ölümü olduğu rapor edilmiştir (Waltenburg vd., 2020). Et ve deniz ürünleri işleyen işçilerde SARS-CoV-2'ye maruz kalma riskinin artmasıyla ilgili faktörlerin; iş arkadaşlarına uzun süreli yakınlık (örn.  $\geq 15$  dakika için 1,8 m), uzun süreler (et işlemede 8-12 saatlik vardiya ve deniz ürünleri işlemede 8-16 saatlik vardiya) paylaşılan çalışma alanları, iş arkadaşlarıyla sık sık iletişim teması, paylaşılan ulaşım araçları ve toplu konutlar olduğu bildirilmiştir (CDC, 2020d; Waltenburg vd., 2020).

Balık ve deniz ürünleri endüstrisinde, toplu konutlarda ve gemilerdeki kalabalıktan dolayı enfeksiyon riski artmış olan mevsimlik işçilerin de bulunduğu (CDC, 2020d), tarımsal endüstri çalışanlarının da aynı risklere maruz kaldığı ifade edilmiştir (CDC, 2020e).

DİSK/Gıda-İş Sendikası, Türkiye'de 27 Mart-17 Nisan 2020 tarihleri arasında 40.000 gıda işçisinin çalıştığı 58 fabrikanın 17'sinde 362 pozitif vakanın çıktığını, işletmelerin %70'inde üretimin artmış olarak aynı ya da azalan sayıdaki işçilerle sürdürdüğünü ve işletme sorumlularınca işçilerin COVID-19'dan korunması için gerekli önlemlerin yeterince alınmadığını bildirmiştir (Evensel, 2020b). Ancak salgının başlangıcından bu güne kadar Türkiye'deki kaç gıda işçisinin koronavirüse yakalandığı ve bunda etken olan faktörlerin tam olarak neler olduğu ne yazık ki halen belirsizdir.

### 3. SARS-CoV-2'nin Gıda ile İlişkili Çevre ve Yüzeylerdeki Varlığına İlişkin Kanıtlar

Aboubakr vd. (2020) SARS-CoV-2'nin 3-16 saat arasında aerosollerde bulaşıcı görüldüğü, oda sıcaklığında ve %65 bağıl nemde birkaç gün hayatta kalabildiği sonucuna vararak havadan iletim olasılığı olabileceğini bildirmiştir. Bu durumda, gıda işletmelerinde COVID-19 ile enfekte personelin zamanında tespit edilememesi durumunda solunum yoluyla yayılan aerosollerin olduğu ortam havasının COVID-19'un taşınmasında etkili olabileceği söylenebilir.

Guo vd. (2020) SARS-CoV-2'nin, Çin'in Wuhan kentinde yoğun bakım ve genel COVID-19 hastane servislerinde havada ve yüzeylerde yaygın olarak dağıldığı sonucuna vararak SARS-CoV-2'nin iletim mesafesinin 4 m olabileceğini göstermiştir. Ayrıca virüsün aerosollerde saatlerce ve yüzeylerde günlerce canlı ve bulaşıcı kalabildiği de tespit edilmiştir (Van Doremalen, 2020). Gıda işletmelerindeki personelin SARS-CoV-2 taşıma olasılığının her zaman olabileceği göz önünde bulundurularak üretim sırasında sosyal mesafenin sağlanmasının oldukça önemli olduğu görülmektedir.

Yapılan bir çalışmada (Van Doremalen, 2020) hem SARS-CoV-1'in hem de SARS-CoV-2'nin bakır yüzeylerde 8 saat sonra büyük ölçüde azalmış olsa da, plastik yüzeylerde 72 saat sonra tespit edildiği belirtilmiştir. Chin vd. (2020)'nin araştırmasında 7. günde cerrahi maskenin dışında tespit edilip baskı kağıdı ve kağıt mendil üzerinde 3 saatlik inkübasyondan sonra geri kazanılmazken, işlenmiş ahşaptan ancak 1. günden sonra,

plastikte, paslanmaz çelikte ve banknotlarda ancak 4. günden sonra tespit edilmemiştir (Chin vd., 2020).

Ancak farklı çevresel koşullara ve sıcaklıklara maruz kalmış kontamine gıda ambalajlarının enfeksiyonu taşıdığına dair hala bir kanıt olmadığı bildirilmiştir (Yannas, 2020).

Tablo 1’de SARS-CoV-2’nin gıda ile temas edebilecek farklı yüzeylerdeki stabilitesiyle ilgili yürütülmüş çalışmalar özetlenmiştir (Ceniti vd., 2021).

Tablo 1. SARS-CoV-2’nin Gıda ile Temas Edebilecek Farklı Yüzeylerdeki Stabilitesiyle İlgili Yürütülmüş Çalışmalar

Yüzey	Virüsün Tespit Süresi	Ortam Koşulları	Virüs Yüğü	Referans
Plastik	72 s	21-23 °C, %40 nispi nem	10 <sup>5,25</sup> TCID <sub>50</sub> /L hava	Van Doremalen vd. (2020)
Bakır	4 s			
Karton	24 s			
Paslanmaz çelik	72 s	22 °C, %65 nispi nem	10 <sup>7,8</sup> TCID <sub>50</sub> /mL	Chin vd. (2020)
Cam	2 gün			
Ahşap	1 gün			
Paslanmaz çelik	4 gün			
Plastik	4 gün	20 °C/30 °C/40 °C, %50 nispi nem	4,97 × 10 <sup>7</sup> /mL standart solüsyona dilüe edilmiş	Riddell vd. (2020)
Paslanmaz çelik	28 gün/7 s/48 s			
Cam	28 gün/7 s/48 s			
Pamuk	14 gün/3 s/tespit edilmedi			
Vinil	28 gün/3 s/48 s	4 °C/22 °C/37 °C	0,01’in enfeksiyon çokluğunda (multiplicity of infection) Vero 76 böbrek hücreleri	Harbourt vd. (2020)
Deri örnekleri ( <i>Sus scrofa</i> )	14 gün/96 s/8 s			
Kumaş	96 s/4 s/4 s	4 °C/30 °C, %30-40 nispi nem, 1 s kurutma	9,6 × 10 <sup>4</sup> TCID <sub>50</sub> /mL	Kratzel vd. (2020)
Metal yüzey	180 s			
Cam	96 s	19-21 °C, %45-55 nispi nem	10 <sup>6</sup> TCID <sub>50</sub> /mL	Pastorino vd. (2020)
Polistiren plastik				
Alüminyum				

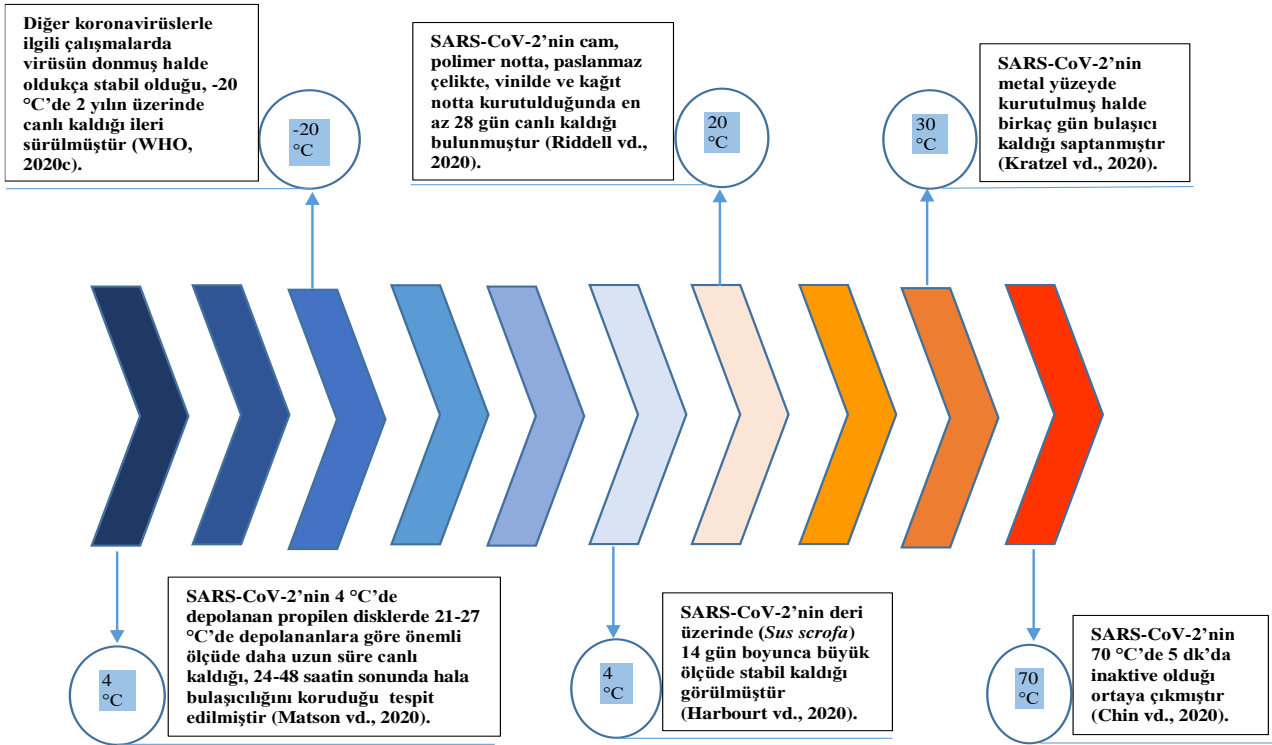
Kratzel vd. (2020)’nin çalışmasında inoküle edilen virüs titresi (9,6 × 10<sup>4</sup> TCID<sub>50</sub>/mL) 4 °C’de 8 saat stabil kalırken 30 °C’ye kadar olan sıcaklıkların virüsün mutlak inaktivasyonunu sağlamadığı gösterilmiştir. SARS-CoV-2 bulaşıcılığının kurutma işlemi sırasında büyük ölçüde azalmasına rağmen, kuru halde birkaç gün boyunca bulaşıcı kaldığını vurgulamışlardır (Kratzel vd., 2020). Soğuk sıcaklıkların incelendiği çalışmalarda (Han vd., 2021; Matson vd., 2020) SARS-CoV-2’nin düşük sıcaklıklarda yüksek stabilite gösterdiği bildirilmiştir.

Soğuk sıcaklıklar genellikle gıdaların muhafazasında ve nakliyesinde uygulandığı için soğuk zincir enfeksiyonu aktarmanın olası bir yolunu temsil edebileceğinden bu kanıtın ciddi bir risk teşkil ettiği belirtilmiştir (Ceniti vd., 2021). Şekil 2 SARS-CoV-2’nin sıcaklığa göre nasıl davrandığına ilişkin kanıtları özetlemektedir (Ceniti vd., 2021).

Gıda işleme tesislerinin içindeki soğuk ve nemli ortamın, COVID-19’un yayılmasını kolaylaştıran bir başka faktör olduğu ve ultraviyole ışığın olmadığı soğuk ve karanlık ortamların koronavirüsü canlı tutması ve bulaşma oranlarında artışa neden olmasının mümkün olduğu bildirilmiştir (Artiga ve Rae, 2020; Gulland, 2020).

#### 4. COVID-19 Enfeksiyonu Riskinin Azaltılmasında Etkili Olduğu Belirtilen Gıda Güvenliği Uygulamaları, Gıda İşletmelerinin ve Gıda Çalışanlarının Dikkat Etmesi Gereken Hususlar

Pandemi sürecinde temel gıda güvenliği uygulamalarından bazıları (el hijyeninin ve işletme içi sanitasyonun sağlanması) yeniden gündeme gelirken, bunlara ilave olarak COVID-19 enfeksiyonuna özel gıda güvenliği uygulamaları (fiziksel mesafenin korunması, enfeksiyona özel kişisel koruyucu ekipman (KKE)’lerin kullanımında dikkat edilmesi gerekenler, enfeksiyon etkeninin dezenfeksiyonunda kullanılması gereken dezenfektanlar, işletme içerisindeki çevre ve ortak alanların yönetiminde dikkat edilecek hususlar vb.) da ortaya çıkmıştır (OSHA, 2020; WHO, 2020d; WHO, 2020e; WHO, 2020f; Angell, 2020; WHO, 2020g; CDC, 2020f; IDFA, 2020; CDC, 2020g; CDC, 2020h).



Şekil 2. Koronavirüslerin, SARS-CoV-2'nin Farklı Sıcaklıklarda Canlılığına İlişkin Kanıtlar

Hijyen önlemlerinin güçlendirilmesinin ve gıda hijyeni ilkeleri hakkında yeniden eğitim verilmesinin, gıda çalışanlarının virüsle kontamine olma riskinin ortadan kaldırılması veya azaltılması için gerekli olduğu belirtilmiştir (WHO, 2020h). Eğitim, etkili ve sürekli iletişim uygun COVID-19 önlemleri için temel taş olarak kabul edilmiştir (BSI Group, 2020). Eğitim planlarının COVID-19 risk faktörleri ve koruyucu davranışlar (örn. COVID-19 semptomları, enfeksiyon önleme, hastalık bildirim, öksürük görgü kuralları, yüze dokunmaktan kaçınma, uygun el yıkama ve KKE bakımı) hakkında işçilere güncel bilgi sağlama yönünde değiştirilmesi gerektiği, hem personelin psikolojik refahı hem de gıda güvenliği öğretimi ve temizlik uygulamalarını güçlendirmenin de aynı derecede önemli olduğu bildirilmiştir (CDC, 2020i; BSI Group, 2020). Bu sebeple birçok ülkede gıda çalışanlarının bahsedilen konular ile ilgili eğitimleri ve bilinçlendirilmeleri amaçlanmıştır.

Bu amaçla verilen eğitimlerde öncelikle önem verilen ilk aşama COVID-19'un temel semptomlarının ( $\geq 37,5$  °C ateş, öksürük, nefes darlığı veya zorluğu, yorgunluk) (WHO, 2020i) anlatılması olmuştur. Gıda sektöründe çalışan personellerin bahsedilen semptomlardan bir veya birkaçına sahip olması durumunda gıda işletmesindeki yetkililere bildirimde bulunmaları, en kısa sürede test yaptırarak testin sonucuna ve enfeksiyonun şiddetine göre hastanede yatarak veya evde izole edilerek tedavi olmaları, işletmede temaslı olduğu diğer işçilerle ilgili gerekli prosedürlerin de uygulanması gerektiği bildirilmiştir (FAO ve WHO, 2020). DSÖ, tedavisi tamamlanıp iyileşen personel için işe dönüş politikası oluşturulması gerektiğini belirterek, teyit edilmiş bir vakanın semptomları düzeldiğinde 24 saat arayla en az iki negatif PCR testine tabi tutulmasını, testin mümkün olmadığı durumda semptomlar düzeldikten 14 gün sonra izolasyondan çıkarılarak işe başlamasını önermiştir (WHO, 2020g).

HACCP (hazard analysis and critical control point-tehlike analizi ve kritik kontrol noktası)'e dayalı Gıda Güvenliği Yönetim Sistemleri güvenli gıda üretimini garanti etmektedir. Bu uygulamalar gıda kontaminasyonunu önlemekte, gıda riskini yönetmektedir ve bunların uygulanması düzenleyici kontrollere tabidir (Ceniti vd., 2021).

COVID-19 pandemisi sürecinde gıda işletmeleri mevcut gıda sağlığı kontrollerini uygulamaya ek olarak, COVID-19'dan kaynaklanan olası gıda güvenliği riskleri konusunda öncelikle DSÖ (WHO, 2020e) tarafından sonra da kendi ülkelerindeki yöneticiler tarafından uyarılmış ve hangi ek önlemleri almaları gerektiği bildirilmiştir. Yetkili otoritelere belirtilmiş, gıdyla ilişkili COVID-19 enfeksiyonunun oluşma riskinin azaltılması amacıyla işletmelerin ve gıda çalışanlarının yerine getirmesi gereken temel gıda güvenliği uygulamaları Tablo 2'de özetlenmiştir (Ceniti vd., 2021; Nakat ve Bou-Mitri, 2021). Gıda işletmeleri ve gıda çalışanları COVID-19'dan korunabildiği sürece gıdalar ve/veya gıda kaynaklı materyallerle enfeksiyonun yayılmasında aracılık etmeleri önlenmiş olacaktır.

COVID-19'un gıda veya gıda ambalajıyla ilişkili bulaşmasını destekleyen hiçbir kanıt olmasa da tesislerin virüs veya bakteri türünden bağımsız olarak hasta olan işçilerle ilişkili tüm riskleri kontrol etmesi, bu yüzden tesislerin ve gıda ile temas eden yüzeylerin temiz ve steril olması gerektiği ifade edilmiştir (FDA, 2020b).

Tarlardan sofraya kadar gıda tedarik zincirinin her aşamasında kritik önlemlerin alınması gerektiği belirtilmiş ve bu önlemler işçilerin tıbbi durumunun takibi (örn. hasta ise evde kalması) ve kişisel hijyeninin sağlanması, temiz çalışma ortamlarında ve yiyecek hazırlamada hijyenin sağlanması, teslimat sürecinde tedbirli olunması, yüzeylerin dezenfeksiyonu ve son olarak sosyal mesafenin sağlanması olarak gruplandırılmıştır. Ayrıca, üretimin

son aşamalarına doğru sürece daha fazla insan dahil olduğu için daha fazla güvenlik önlemi alınması gerektiği belirtilmiştir (Rizou vd., 2020).

ABD Çalışma Bakanlığı Mesleki Güvenlik ve Sağlık İdaresi en etkili koruma önlemlerinin mühendislik ve idari kontroller ile KKE'lerin kullanılması olduğunu belirtmiştir (OSHA, 2020).

Tablo 2. COVID-19 Enfeksiyonu Riskinin Azaltılması Amacıyla Yerine Getirilmesi Gereken Gıda Güvenliği Uygulamaları

Gıda Güvenliği Uygulaması	Detaylar
<b>Fiziksel mesafenin korunması</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-İşçilerin çalışması sırasında DSÖ (WHO, 2020i) 1 m'lik bir fiziksel mesafe önerirken, FDA (FDA, 2020b) 6 fitlik (1, 82 m) bir mesafenin korunmasını önermiştir.</li> <li>-Etkileşimin ve sohbetin en aza indirilmesi, gerekli olmayan fiziksel temasın mümkün olduğunca kısıtlanması, personelin yüz yüze gelmesini önlemek için herhangi bir uzaktan çalışma aracının (telefon görüşmesi, arama-video uygulaması vb.) teşvik edilmesi belirtilmiştir (WHO, 2020e).</li> <li>-Çalışanların mola alanlarında ve işletmeye giriş-çıkış alanlarında bir araya gelmesini önlemek için alternatif mola ve giriş çıkış alanlarının oluşturulması, gıda hazırlama alanlarındaki personel sayısının ve etkileşimin azaltılması için gruplar ve ekipler halinde organize edilmesi gerektiği bildirilmiştir (WHO, 2020e).</li> <li>-Perakende satış yerlerinde yiyecekleri herhangi bir fiziksel tehlike riskinden ayırmak ve personeli korumak için pleksişglas gibi fiziksel bariyerler kullanılması tavsiye edilmiştir (CDC, 2020b; WHO, 2020e).</li> <li>-Gıda teslimatı veya kabulünün yapıldığı noktalarda temassız teslimatın yapılması, tek kullanımlık kapların kullanılması, ürüne dokunmanın sınırlandırılması, belirlenmiş toplama bölgelerinin kurulması, paketlenmiş hammaddelerin tekrar sarılması, evrak alışverişinin sınırlandırılması gerektiği ifade edilmiştir (CISA, 2020; WHO, 2020k).</li> </ul>
<b>Kişisel koruyucu ekipmanların kullanılması</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Çalışanların özellikle yüz maskesi ve eldiven kullanımına dikkat etmesi ve sık sık değiştirmeleri tavsiye edilmiştir (WHO, 2020e; FDA, 2020c).</li> </ul>
<b>El hijyeninin sağlanması</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Normal sabun ve 20 s süreyle akan ılık suyun yeterli bir el dezenfektanı olduğu, ek önlem olarak %60'lık alkol kullanılabilceği (Pittet vd., 2009), alkol bazlı el dezenfektanı kullanımının sık sık teşvik edilmesi belirtilmiştir (WHO, 2020e).</li> </ul>
<b>Sanitasyonun/ dezenfeksiyonun sağlanması</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Patojenlerin yayılmasını ve bulaşıcılığı azaltmak için DSÖ tarafından el sanitasyonunda önerilen 2 alkol bazlı formülasyon (1. Formülasyon: %80 etanol, %1,45 gliserol ve %0,125 hidrojen peroksit, 2. Formülasyon: %75 2-propanol, %1,45 gliserol ve %0,125 hidrojen peroksit) (Pittet vd., 2009) yeniden gündeme gelmiştir.</li> <li>-Nakliye konteynerlerinin hijyen ve sanitasyonunun sağlanması gerektiği vurgulanmıştır (OSHA, 2020).</li> <li>-Yiyecek dağıtımı için kullanılan poşetleri temizlemek ve sterilize etmek için belirlenmiş toplama bölgeleri oluşturulmasının önemli olduğu belirtilmiştir (FDA, 2020d).</li> <li>-Gıdayla temas eden tüm yüzeylerin sık sık sterilize edilmesi ve açık gıda alanı etrafındaki tüm çalışanların iyi kişisel hijyen uygulamalarına uymaları gerektiği ifade edilmiştir (Ceniti vd., 2021).</li> <li>-DSÖ pişmiş gıdanın optimum sıcaklığa ulaşmasını ve daha sonra kullanılması durumunda hızla soğutulmasını önermiştir (WHO, 2020e).</li> <li>-Çalışma yüzeylerinin ve temas noktalarının sık sık temizlenmesi/dezenfeksiyonu tavsiye edilmiştir (WHO, 2020e; WHO, 2020l).</li> <li>-Perakende satış yerlerinin giriş noktalarında el dezenfektanı ve tek kullanımlık dezenfektanlı mendillerin sağlanması, bu yerlerdeki tüm yüzeylerin, tezgahların, ekipmanların ve gıdayla temasta olan her şeyin sık sık yıkanması ve sterilize edilmesi gerektiği belirtilmiştir (CDC, 2020b; WHO, 2020e).</li> <li>-Ambalajlanamayan gıdalar müşterilere servis edilirken maşa gibi ekipmanlar veya tek kullanımlık servis gereçlerinin kullanılması istenmiştir (WHO, 2020e).</li> </ul>
<b>Çevre ve ortak alan yönetimi</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Çalışanların işletme içinde düğmelere dokunmadan hareket etmesine izin verilmesi için otomatik açılan kapıların kullanılması veya gıda güvenliği bölgelerini etkilemediği yerlerde kapıların kaldırılması/açık tutulması tavsiye edilmiştir (WHO, 2020e; WHO, 2020l).</li> <li>-İnsan makine arayüzlerinin (klavye, düğme, ortak araçlar vb.) iki ayrı kullanıcı arasında dezenfekte edilmesi gerektiği belirtilmiştir (WHO, 2020e; WHO, 2020l).</li> <li>-Boşluğun korunması ve yüz yüze etkileşimleri azaltmak için iş istasyonlarının yeniden yapılandırılması önerilmiştir (WHO, 2020e; WHO, 2020l).</li> <li>-Perakende satış yerlerinde müşteri sepetlerinin temizlenmesinde sanitasyonun yerine getirilmesinde veya hijyenik alışverişin sağlanmasında yardımcı olacak personelin atanmasının faydalı olacağı bildirilmiştir (CDC, 2020b; WHO, 2020e).</li> </ul>

Bunun yanında, gıda endüstrisinde ve yalnızca uygun kişisel hijyen ve el yıkama uygulamaları ile birlikte düzgün şekilde kullanılırsa, KKE'lerin hem çapraz enfeksiyonun (COVID-19) hem de çapraz kontaminasyonun (gıda güvenliği) yayılmasını

azaltmada yardımcı olabileceği belirtilmiştir (WHO, 2020d). Gıda endüstrisi ile ilgili KKE'ler arasında yüz maskeleri, yüz siperleri, eldivenler, temiz üniformalar (sahada giyilir ve günlük olarak yıkanır), saç boneleri ve kapalı kaymaz iş ayakkabıları



bulunmaktadır (BRCGS, 2020).

DSÖ tek kullanımlık eldivenlerin hiçbir zaman bir el yıkama yerine kullanılmamasını vurgulamış, SARS-CoV-2'nin işçilerin ellerinde olduğu gibi tek kullanımlık eldivenleri de aynı şekilde kontamine edebileceğini, çalışanların tek kullanımlık eldivenleri giymeden önce en az 20 s boyunca ellerini yıkaması gerektiğini belirtmiştir (WHO, 2020e).

Maske kullanımının esas olarak virüsü bilmeden yayabilecek asemptomatik işçiler için önemli ve özellikle SARS-CoV-2'nin bir solunum virüsü olması nedeniyle, belirtilen diğer KKE'lerden daha acil olduğu ifade edilmiştir (Nakat ve Bou-Mitri, 2021). DSÖ (WHO, 2020f) maske takmadan önce işçilerin ellerini yıkamalarını, hem ağız hem de burnun maske ile kapatılmasını, maskeye dokunduklarında ellerini yıkamalarını ya da dezenfekte etmelerini, maske nemlenip kirlendiğinde veya yırtıldığında değiştirmelerini tavsiye etmiştir.

İdeal olarak maskelerin her molada, tuvalete gidildiğinde veya çıkarılması için herhangi başka bir neden olduğunda değiştirilmesi, bir günden daha uzun süre tek bir maskenin takılmaması önerilmiştir (Angell, 2020). Maske veya yüz koruyucusunu çıkarırken dikkatli olunması, arkadan çıkarılması ve maskenin hemen kapalı bir kutuya atılarak ellerin yıkanması, yüz koruyucusu tekrar kullanılabilir durumda ise uygun bir yere bırakılarak dezenfekte edilmesi istenmiştir (WHO, 2020g; CDC, 2020f). Tek kullanımlık önlükler çıkarılırken başcıkları gevşetildikten sonra dış yüzeyinden değil iç yüzeyinden tutularak dikkatlice sıyırılması, iç kısmı dışa gelecek şekilde katlanarak atık kutusuna atılması gerektiği belirtilmiştir (CDC, 2020f).

Çalışanların, üretim hatları, alım ve paketleme alanları, numune alma ve kalite odaları ile konferans odaları, dinlenme odaları, soyunma odaları, tuvaletler, koridorlar ve girişler gibi ortak tesis alanlarında yakın temas nedeniyle enfekte olabileceği (IDFA, 2020) ve yakın temasın, COVID-19 pozitif bir bireyin yaklaşık 2 m (6 ft) içinde 15 dakikadan daha uzun süre olması anlamına geldiği bildirilmiştir (CDC, 2020g).

Temiz ve yıkanmış giysilerin COVID-19 için transfer vektör olarak kabul edilmediği (CDC, 2020h), virüs partikülleri ve hasta kişilerle temas etme olasılığı olan giysiler için genel deterjanların kullanılması, en sıcak sıcaklık ayarında ve tam kuruma yapılması önerilmiştir (IDFA, 2020). Ayrıca CDC (2020h), temizlikle uğraşan kişilere; 1) virüsün havada yayılma olasılığını en aza indirmek için kirli çamaşırları sallamamalarını, 2) çamaşırların taşınmasında kullanılan her şeyi tipik temizlik ürünleriyle temizlemelerini ve dezenfekte etmelerini, 3) kirli maddelerle çalışırken tek kullanımlık eldiven giymelerini ve 4) eldivenleri çıkardıktan hemen sonra veya kirli eşyalara dokunduktan hemen sonra ellerini yıkamalarını tavsiye etmiştir.

Yetkili otoritelerce önerilen uygulamaların doğruluğunun kanıtlanması için bilimsel çalışmalar (Kratzel vd., 2020; Kampf vd., 2020; Chin vd., 2020) da yapılmıştır.

DSÖ tarafından önerilen el ovma formülasyonlarının (Pittet vd., 2009) virüs aktivite çalışması gerçekleştirildiğinde SARS-CoV-2'nin 30 s sonra etkin bir şekilde inaktive edildiği bulunmuştur (Kratzel vd., 2020). Pişmiş gıdanın optimum sıcaklığa ulaşması gerektiği belirtilmiş (WHO, 2020e) ve koronavirüs enfeksiyonunun termal dezenfeksiyonla (60 °C/30

dk, 65 °C/15 dk ve 80 °C/1 dk) büyük ölçüde (en az 4 log) azaltıldığı (Kampf vd., 2020), SARS-CoV-2'nin 5 dk'lık 70 °C'deki inkübasyon sıcaklığında inaktive edildiği bildirilmiştir (Chin vd., 2020). Yiyeceği 63 °C'de 4 dakika pişirmenin, SARS-CoV-2 tarafından bir gıda ürününün kontaminasyonunu 1000 kat azalttığı bildirilmiştir (ANSES, 2020).

Tüketicilerin SARS-CoV-2'nin paketlerin yüzeyinde hayatta kalma kabiliyetine ilişkin endişeleri, antiviral aktif paketleme özelliğine sahip polimer ve nano-bazlı biyopolimerlerin geliştirilmesine olan ilginin artmasına neden olmuştur. Antiviral özelliklere sahip biyopolimerlerin geliştirilmesi ve bunların gıda alanındaki uygulamaları açık bir araştırma alanı olmuştur (Olaimat vd., 2020).

Nanomateriyal kaplamaların veya bakır, gümüş ve çinko nanopartikül içeren filmlerin kullanımının, gıda ambalaj yüzeylerinin kontaminasyonunu önlemek ve dolayısıyla iletimini azaltmak için SARS-CoV-2'ye karşı bir potansiyele sahip olduğu bildirilmiştir (Sportelli vd., 2020). Van Doremalen vd. (2020) bakır yüzeylerde SARS-CoV-2'nin canlılığının azaldığını ve 2 saat içinde inaktive olduğunu doğrulamıştır.

## 5. Sonuç

Gıda işletmelerinde çalışan personellerin iyi hijyen uygulamaları kurallarını doğru şekilde uygulamaları halinde COVID-19'u gıda ve/veya gıda ile ilişkili maddelere/malzemelere bulaştırması mümkün görülmemektedir. Buna ek olarak pandemi sürecinde COVID-19'a özel hijyen ve sanitasyon uygulamalarına gereken titizlik gösterilirse gıda sektörü çalışanları pandeminin yayılımının önlenmesi ve pandemiyle mücadelede üzerlerine düşen görevi yerine getirmiş olacaklardır. SARS-CoV-2 muhtemelen uzun bir süre daha devam edeceğinden gıda çalışanları "normal hijyen uygulamaları"nı "yeni normaller"e dönüştürmek zorundadırlar. Araştırmacılar gıda aracılığıyla COVID-19 enfeksiyonunun oluşumunda etkili olabilecek faktörlerin detaylı tespiti, alınması gereken özel gıda güvenliği önlemlerinin etkinliği, ticari gıda ürünlerinin SARS-CoV-2 kontaminasyonuna karşı korunabilmesi için antiviral işleme ve muhafaza yöntemlerinin geliştirilmesi konusunda çalışmalarını sürdürmelidirler. Başka ortaya çıkma ihtimali olabilecek viral enfeksiyonların gıda, gıdayla temas eden madde/malzeme, gıda işleme tesisi ve gıda çalışanı aracılığıyla yayılımının önüne geçilmesi konusuna da aynı önem verilmelidir.

## Kaynakça

- Aboubakr, H.A., Sharafeldin, T.A., Goyal, S.M. (2020). Stability of SARS-CoV-2 and other coronaviruses in the environment and on common touch surfaces and the influence of climatic conditions: a review. *Transboundary and Emerging Diseases*, 68(2), 296-312.
- Angell, S. (2020). Face covering guidance. California Department of Public Health. <https://www.cdph.ca.gov/Programs/CID/DCDC/Pages/Face-Coverings-Guidance.aspx> (Erişim tarihi: 20.05.2021).
- ANSES (2020). ANSES's recommendations on food, shopping and cleaning. The French Agency for Food, Environmental and Occupational Health & Safety. <https://www.anses.fr> (Erişim tarihi: 20.05.2021).
- AP News, (2021). WHO urges pause in market sale of captured live wild animals. The Associated Press.

- <https://apnews.com/article/animals-health-coronavirus-pandemic-infectious-diseases-united-nations-820f6195996181264a5611f40ab04b2f> (Erişim tarihi: 20.05.2021).
- Artiga, S., Rae, M. (2020). The COVID-19 outbreak and food production workers: who is at risk?. Kaiser Family Foundation. <https://www.kff.org/coronavirus-covid-19/issue-brief/the-covid-19-outbreak-and-food-production-workers-who-is-at-risk/> (Erişim tarihi: 20.05.2021).
- BBC (2020). Coronavirus: virus outbreaks push Germany to clean up abattoirs. British Broadcasting Corporation. <https://www.bbc.com/news/world-europe-52738356> (Erişim tarihi: 20.05.2021).
- BBC News (2021). Covid: Wuhan'da incelemeler yapan WHO heyeti koronavirüsün kökeniyle ilgili ne dedi? British Broadcasting Corporation News. <https://www.bbc.com/turkce/haberler-dunya-55995003> (Erişim tarihi: 20.05.2021).
- Bienkov, A. (2020). Coronavirus: loss of smell and taste may be hidden symptom of COVID19-business insider. <https://www.businessinsider.com/coronavirussymptoms-loss-of-smell-taste-covid-19-anosmia-hyposmia-2020-3> (Erişim tarihi: 20.05.2021).
- Blondin-Brosseau, M., Harlow, J., Doctor, T., Nasheri, N. (2020). Examining the persistence of human coronaviruses on fresh produce. *bioRxiv*.
- Bondad-Reantaso, M.G., Mackinnon, B., Bin, H., Jie, H., Tang-Nelson, K., Surachetpong, W., Alday-Sanz, V., Salman, M., Brun, E., Karunasagar, I., et al. (2020). SARS-CoV-2 (the cause of COVID-19 in humans) is not known to infect aquatic food animals nor contaminate their products. *Asian Fisheries Science*, 33(1), 74-78.
- Bosch, A., Gkogka, E., Le Guyader, F.S., Loisy-Hamon, F., Lee, A., van Lieshout, L., Marthi, B., Myrmel, M., Sansom, A., Schultz, A.C., et al. (2018). Foodborne viruses: detection, risk assessment, and control options in food processing. *International Journal of Food Microbiology*, 285, 110-128.
- BRCGS (2020). BRCGS guidance document: managing food safety during COVID-19. BRC Global Standards. <https://www.brcgs.com/media/2082504/food-safety-covid-19-guideline-unlocked.pdf> (Erişim tarihi: 20.05.2021).
- BSI Group (2020). Safe working during the Covid-19 pandemic-general guidelines for organizations version 1. BSI Flex. <https://www.bsigroup.com/en-GB/topics/novel-coronavirus-covid-19/covid-19-guidelines/> (Erişim tarihi: 20.05.2021).
- BfR (2020). Can the new type of coronavirus be transmitted via food and objects?. Bundesinstitut für Risikobewertung. [https://www.bfr.bund.de/en/can\\_the\\_new\\_type\\_of\\_coronavirus\\_be\\_transmitted\\_via\\_food\\_and\\_objects\\_-244090.html](https://www.bfr.bund.de/en/can_the_new_type_of_coronavirus_be_transmitted_via_food_and_objects_-244090.html) (Erişim tarihi: 20.05.2021).
- CDC (2020a). Symptoms of coronavirus. The Centers for Disease Control and Prevention. <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/symptoms-testing/symptoms.html> (Erişim tarihi: 20.05.2021).
- CDC (2020b). Interim guidelines for collecting, handling, and testing clinical specimens from persons for coronavirus disease 2019 (COVID-19). The Centers for Disease Control and Prevention. <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/lab/guidelines-clinical-specimens.html> (Erişim tarihi: 20.05.2021).
- CDC (2020c). Public health guidance for potential COVID-19 exposure associated with travel. The Centers for Disease Control and Prevention. <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/php/risk-assessment.html> (Erişim tarihi: 20.05.2021).
- CDC (2020d). Protecting seafood processing workers from COVID-19. The Centers for Disease Control and Prevention. <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/community/guidance-seafood-processing.html> (Erişim tarihi: 20.05.2021).
- CDC (2020e). Agriculture workers and employers. The Centers for Disease Control and Prevention. <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/community/guidance-agricultural-workers.html> (Erişim tarihi: 20.05.2021).
- CDC (2020f). Guidance for the selection and use of personal protective equipment (PPE) in healthcare settings. The Centers for Disease Control and Prevention. <https://www.cdc.gov/hai/pdfs/ppe/ppeslides6-29-04.pdf> (Erişim tarihi: 20.05.2021).
- CDC (2020g). Interim US guidance for risk assessment and public health management of persons with potential coronavirus disease 2019 (COVID-19) exposures: geographic risk and contacts of laboratory-confirmed. The Centers for Disease Control and Prevention. <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/hcp/guidance-risk-assessment-hcp.html> (Erişim tarihi: 20.05.2021).
- CDC (2020h). Cleaning and disinfecting your facility. The Centers for Disease Control and Prevention. <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/community/disinfecting-building-facility.html> (Erişim tarihi: 20.05.2021).
- CDC (2020i). Meat and poultry processing workers and employers. The Centers for Disease Control and Prevention. <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/community/organizations/meat-poultry-processing-workers-employers.html> (Erişim tarihi: 20.05.2021).
- Ceniti, C., Tilocca, B., Britti, D., Santoro, A., Costanzo, N. (2021). Food safety concerns in "COVID-19 era". *Microbiology Research*, 12, 53-68. <https://doi.org/10.3390/microbiolres12010006>
- Chin, A.W.H., Chu, J.T.S., Perera, M.R.A., Hui, K.P.Y., Yen, H.-L., Chan, M.C.W., Peiris, M., Poon, L.L.M. (2020). Stability of SARS-CoV-2 in different environmental conditions. *Lancet Microbe*, 1, e10.
- CISA (2020). Guidance on the essential critical infrastructure workforce: advisory memorandum on ensuring essential critical infrastructure workers' ability to work during The Covid-19 response. Cybersecurity and Infrastructure Security Agency. [https://www.cisa.gov/sites/default/files/publications/ECIW\\_4.0\\_Guidance\\_on\\_Essential\\_Critical\\_Infrastructure\\_Workers\\_Final3\\_508\\_0.pdf](https://www.cisa.gov/sites/default/files/publications/ECIW_4.0_Guidance_on_Essential_Critical_Infrastructure_Workers_Final3_508_0.pdf) (Erişim tarihi: 20.05.2021).
- Costa, S., Posteraro, B., Marchetti, S., Tamburrini, E., Carducci, B., Lanzone, A., Valentini, P., Buonsenso, D., Sanguinetti, M., Vento, G., Cattani, P. (2020). Excretion of SARS-CoV-2 in human breast milk. *Clinical Microbiology and Infection*, 26, 1430-1432.
- Decaro, N., Mari, V., Campolo, M., Lorusso, A., Camero, M., Elia, G., Martella, V., Cordioli, P., Enjuanes, L., Buonavoglia, C. (2009). Recombinant canine coronaviruses related to transmissible gastroenteritis virus of swine are circulating in dogs. *Journal of Virology*, 83(3), 1532-1537.
- Douglas, L. (2020). Mapping Covid-19 outbreaks in the food system, food & environment reporting network.

- <https://thefern.org/2020/04/mapping-covid-19-in-meat-and-food-processing-plants/> (Erişim tarihi: 20.05.2021).
- Dyal, J.W. (2020). COVID-19 among workers in meat and poultry processing facilities-19 states, April 2020. *MMWR. Morbidity and Mortality Weekly Report*, 69(18), 557-561.
- EC (2020). Covid-19 and food safety, questions and answers. European Commission Directorate-General for Health and Food Safety. Brussel, België, 12p.
- EFSA (2020). Coronavirus: no evidence that food is a source or transmission route. European Food Safety Authority. <https://www.efsa.europa.eu/en/news/coronavirus-no-evidence-food-source-or-transmission-route> (Erişim tarihi: 20.05.2021).
- Evrensel (2020a). Gıda-İş, fabrikalarda alınmayan koronavirüs önlemlerini raporlaştırdı. Evrensel. <https://www.evrensel.net/haber/400611/gida-is-fabrikalarda-alinmayan-koronavirus-onlemlerini-raporlastirdi> (Erişim tarihi: 20.05.2021).
- Evrensel (2020b). Gıda-İş Sendikası: Gıda işçileri risk altında çalışıyor. Evrensel. <https://www.evrensel.net/haber/402586/gida-is-sendikasi-gida-iscileri-risk-altinda-calisiyor> (Erişim tarihi: 20.05.2021).
- FAO ve WHO (2020). COVID-19 and food safety: guidance for food businesses: interim guidance. Food and Agriculture Organization of the United Nations-World Health Organization, WHO reference number: WHO/2019-nCoV/Food\_Safety/2020.1. [https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/331705/WHO-2019-nCoV-Food\\_Safety-2020.1-eng.pdf](https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/331705/WHO-2019-nCoV-Food_Safety-2020.1-eng.pdf) (Erişim tarihi: 20.05.2021).
- FDA (2020a). Coronavirus disease 2019 (COVID-19) and the food supply chain. U.S. Food and Drug Administration. <https://www.fda.gov/food/food-safety-during-emergencies/food-safety-and-coronavirus-disease-2019-covid-19> (Erişim tarihi: 20.05.2021).
- FDA (2020b). Food safety and the coronavirus disease 2019 (COVID-19). U. S. Food and Drug Administration. <https://www.fda.gov/food/food-safety-during-emergencies/food-safety-and-coronavirus-disease-2019-covid-19> (Erişim tarihi: 20.05.2021).
- FDA (2020c). Best practices for retail food stores, restaurants, and food pick-up/delivery services during the COVID-19. U. S. Food and Drug Administration. <https://www.fda.gov/food/food-safety-during-emergencies/best-practices-retail-food-stores-restaurants-and-foodpick-updelivery-services-during-covid-19#employeehealth> (Erişim tarihi: 20.05.2021).
- FDA (2020d). Food safety and availability during the coronavirus pandemic. U. S. Food and Drug Administration. <https://www.fda.gov/consumers/consumer-updates/food-safety-and-availability-during-coronavirus-pandemic> (Erişim tarihi: 20.05.2021).
- Gulland, A. (2020). Revealed: why meat processing plants are the ideal incubator of the coronavirus. *The Telegraph*. <https://www.telegraph.co.uk/global-health/science-and-disease/revealed-meat-processing-plants-ideal-incubator-coronavirus/> (Erişim tarihi: 20.05.2021).
- Guo, Z.D., Wang, Z.Y., Zhang, S.F., Li, X., Li, L., Li, C., Cui, Y., Fu, R.B., Dong, Y.Z., Chi, X.Y., et al. (2020). Aerosol and surface distribution of severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 in hospital wards, Wuhan, China, 2020. *Emerging Infectious Diseases*, 26(7), 1586-1591.
- Han, J., Zhang, X., He, S., Jia, P. (2021). Can the coronavirus disease be transmitted from food? A review of evidence, risks, policies and knowledge gaps. *Environmental Chemistry Letters*, 19, 5-16.
- Harbourt, D.E., Haddow, A.D., Piper, A.E., Bloomfield, H., Kearney, B.J., Fetterer, D., Gibson, K., Minogue, T. (2020). Modeling the stability of severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 (SARS-CoV-2) on skin, currency, and clothing. *PLOS Neglected Tropical Diseases*, 14, e0008831.
- Hasoksuz, M., Alekseev, K., Vlasova, A., Zhang, X., Spiro, D., Halpin, R., Wang, S., Ghedin, E., Saif, L.J. (2007). Biologic, antigenic, and full-length genomic characterization of a bovine-like coronavirus isolated from a giraffe. *Journal of Virology*, 81(10), 4981-4990.
- Hindson, J. (2020). COVID-19: faecal-oral transmission? *Nature Reviews Gastroenterology and Hepatology*, 17, 259.
- Hu, Y., Shen, L., Xu, Z., Zhou, J., Zhou, H. (2020). SARS-CoV-2 may persist in digestive tract longer than respiratory tract. *Preprints*, 2020020354.
- IDFA (2020). Emergency prevention measures to achieve physical (social) distancing in food manufacturing facilities as related to COVID-19. International Dairy Food Association. <https://www.idfa.org/wordpress/wp-content/uploads/2020/04/2020-03-31-Emergency-Preventions-Measures-for-Physical-Distancing-in-Food-Manufacturing-as-Related-to-COVID-19.pdf> (Erişim tarihi: 20.05.2021).
- ISDH (2020). COVID-19 food safety guidelines. Indiana State Department of Health, Epidemiology Research Center. <https://www.hamiltoncounty.in.gov/DocumentCenter/View/14762/Food-Safety-Guidelines-COVID19-ISDH?bidId=> (Erişim tarihi: 20.05.2021).
- Kampf, G., Voss, A., Scheithauer, S. (2020). Inactivation of coronaviruses by heat. *Journal of Hospital Infection*, 105(2), 348-349.
- Kaur, G. (2020). Meat plants become hotspots for Covid-19 across the World. <https://www.grainmart.in/news/meat-plants-become-hotspots-for-covid-19-across-the-world/> (Erişim tarihi: 20.05.2021).
- Kratzel, A., Steiner, S., Todt, D., V'kovski, P., Brueggemann, Y., Steinmann, J., Steinmann, E., Thiel, V., Pfaender, S. (2020). Temperature-dependent surface stability of SARS-CoV-2. *Journal of Infection*, 81, 452-482.
- Lam, S.D., Bordin, N., Waman, V.P., Scholes, H.M., Ashford, P., Sen, N., van Dorp, L., Rauer, C., Dawson N.L., Pang, C.S.M., et al. (2020). SARS-CoV-2 spike protein predicted to form complexes with host receptor protein orthologues from a broad range of mammals. *Scientific Reports*, 10, 16471.
- Lam, T.T.Y., Jia, N., Zhang, Y.W., Shum, M.H.H., Jiang, J.F., Zhu, H.C., Tong, Y.G., Shi, Y.X., Ni, X.B., Liao, Y.S., et al. (2020). Identifying SARS-CoV-2-related coronaviruses in Malayan pangolins. *Nature*, 583, 282-285.
- Leung, N.H.L., Chu, D.K.W., Shiu, E.Y.C., Chan, K.H., McDevitt, J.J., Hau, B.J.P., Yen, H.L., Li, Y., Ip, D.K.M., Peiris, J.S.M., et al. (2020). Respiratory virus shedding in exhaled breath and efficacy of face masks. *Nature Medicine*, 26, 676-680.
- Matson, M.J., Yinda, C.K., Seifert, S.N., Bushmaker, T., Fischer, R.J., van Doremalen, N., Lloyd-Smith, J.O., Munster, V.J. (2020). Effect of environmental conditions on SARS-CoV-2 stability in human nasal mucus and sputum, *Emerging Infectious Diseases*, 26(7), 2276-2278.

- Middleton, J., Reintjes, R., Lopes, H. (2020). Meat plants-a new front line in the Covid-19 pandemic. *British Medical Journal*, 370, m2716.
- Mungroo, M.R., Khan, N.A., Siddiqui, R. (2020). Novel coronavirus: current understanding of clinical features, diagnosis, pathogenesis, and treatment options. *Pathogens*, 9(4), 297. doi: 10.3390/pathogens9040.
- Nakat, Z.; Bou-Mitri, C. (2021). COVID-19 and the food industry: readiness assessment. *Food Control*, 121, 107661.
- NEHA (2020). COVID-19 and food safety. National Environmental Health Association. <https://www.neha.org/covid-19> (Erişim tarihi: 20.05.2021).
- Niederwerder, M.C., Hesse, R.A. (2018). Swine enteric coronavirus disease: a review of 4 years with porcine epidemic diarrhoea virus and porcine deltacoronavirus in the United States and Canada. *Transboundary and Emerging Diseases*, 65(3), 660-675.
- Oakenfull, R. J., Wilson, A. J. (2020). Qualitative risk assessment: what is the risk of food or food contact materials being a source or transmission route of SARS-CoV-2 for UK consumers?. Food Standards Agency, London, UK.
- Olaimat, A. N., Shahbaz, H. M., Fatima, N., Munir, S., Holley, R. A. (2020). Food safety during and after the era of Covid-19 pandemic. *Frontiers in Microbiology*, 11, 1854.
- OSHA (2020). Guidance on preparing workplaces for COVID-19. Occupational Safety and Health Administration. <https://www.osha.gov/Publications/OSHA3990.pdf> (Erişim tarihi: 20.05.2021).
- Pang, X., Ren, L., Wu, S., Ma, W., Yang, J., Di, L., Li, J., Xiao, Y., Kang, L., Du, S., et al. (2020). Cold-chain food contamination as the possible origin of Covid-19 resurgence in Beijing. *National Science Review*, 7, 1861-1864.
- Pastorino, B., Touret, F., Gilles, M., de Lamballerie, X., Charrel, R.N. (2020). Prolonged infectivity of SARS-CoV-2 in fomites. *Emerging Infectious Diseases*, 26(7), 2256-2257.
- Pittet, D., Allegranzi, B., Boyce, J. (2009). The World Health Organization guidelines on hand hygiene in health care and their consensus recommendations. *Infection Control & Hospital Epidemiology*, 30(7), 611-622.
- Pung, R., Chiew, C.J., Young, B.E., Chin, S., Chen, M.I.C., Clapham, H.E., Cook, A.R., Maurer-Stroh, S., Toh, M.P.H.S., Poh, C., et al. (2020). Investigation of three clusters of COVID-19 in Singapore: implications for surveillance and response measures. *Lancet*, 395, 1039-1046.
- Riddell, S., Goldie, S., Hill, A., Eagles, D., Drew, T.W. (2020). The effect of temperature on persistence of SARS-CoV-2 on common surfaces. *Virology Journal*, 17(1), 145.
- Rizou, M., Galanakis, I.M., Aldawoud, T.M., Galanakis, C.M. (2020). Safety of foods, food supply chain and environment within the COVID-19 pandemic. *Trends in Food Science & Technology*, 102, 293-299.
- Shenzhen Government, (2020). COVID-19 virus found in imported frozen chicken Wings\_Notices-Shenzhen Government. [http://www.sz.gov.cn/en\\_szgov/news/notices/content/post\\_8000285.html](http://www.sz.gov.cn/en_szgov/news/notices/content/post_8000285.html) (Erişim tarihi: 20.05.2021).
- Van Doorn, A.S., Meijer, B., Frampton, C.M.A., Barclay, M.L., de Boer, N.K.H. (2020). Systematic review with meta-analysis: SARS-CoV-2 stool testing and the potential for faecal-oral transmission. *Alimentary Pharmacology and Therapeutics*, 52(8), 1276-1288.
- Van Doremalen, N., Bushmaker, T., Morris, D.H., Holbrook, M.G., Gamble, A., Williamson, B.N., Tamin, A., Harcourt, J.L., Thornburg, N.J., Gerber, S.I., Lloyd-Smith, J.O., de Wit, Emmie, Munster, V.J. (2020). Aerosol and surface stability of HCoV-19 (SARS-CoV-2) compared to SARS-CoV-1. *The New England Journal of Medicine*, 382, 1564-1567.
- Velebit, B., Djordjevic, V., Milojevic, L., Babic, M., Grkovic, N., Jankovic, V., Yushina, Y. (2019). The common foodborne viruses: a review. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 333, 012110. doi: 10.1088/1755-1315/333/1/012110.
- Walls, A.C., Park, Y.J., Tortorici, M.A., Wall, A., McGuire, A.T., Velesler, D. (2020). Structure, function, and antigenicity of the SARSCoV-2 spike glycoprotein. *Cell*, 181(2), 281-92. doi: 10.1016/j.cell.2020.02.058.
- Waltenburg, M.A., Victoroff, T., Rose, C.E., Butterfield, M., Jervis, R.H., Fedak, K.M., Gabel, J.A., Feldpausch, A., Dunne, E.M., Austin, C. et al. (2020). Update: COVID-19 among workers in meat and poultry processing facilities-United States, April-May 2020. *MMWR. Morbidity and Mortality Weekly Report*, 69 (27), 887-92. doi: 10.15585/mmwr.mm6927e2.
- WHO (2020a). Coronavirus disease 2019 (COVID-19) situation report-32. World Health Organization. [https://www.who.int/docs/default-source/coronaviruse/situation-reports/20200221-sitrep-32-covid-19.pdf?sfvrsn=4802d089\\_2](https://www.who.int/docs/default-source/coronaviruse/situation-reports/20200221-sitrep-32-covid-19.pdf?sfvrsn=4802d089_2) (Erişim tarihi: 20.05.2021).
- WHO (2020b). Coronavirus disease (COVID-19): how is it transmitted?. World Health Organization. <https://www.who.int/news-room/q-adeail/q-a-how-is-covid-19-transmitted> (Erişim tarihi: 20.05.2021).
- WHO (2020c). Global surface sampling of coronavirus disease (COVID-19): a practical “how to” protocol for health care and public health professionals. World Health Organization. [https://www.who.int/publications/i/item/surface-sampling-of-coronavirus-disease-\(covid-19\)-a-practical-how-to-protocol-for-health-care-and-public-health-professionals](https://www.who.int/publications/i/item/surface-sampling-of-coronavirus-disease-(covid-19)-a-practical-how-to-protocol-for-health-care-and-public-health-professionals) (Erişim tarihi: 20.05.2021).
- WHO (2020d). Rational use of personal protective equipment for coronavirus disease (COVID-19) and considerations during severe shortages. World Health Organization. [https://www.who.int/publications-detail/rational-use-of-personal-protective-equipment-for-coronavirus-disease-\(covid-19\)-and-considerations-during-severe-shortages](https://www.who.int/publications-detail/rational-use-of-personal-protective-equipment-for-coronavirus-disease-(covid-19)-and-considerations-during-severe-shortages) (Erişim tarihi: 20.05.2021).
- WHO (2020e). World Health Organization COVID-19 and food safety: guidance for food businesses: interim guidance. World Health Organization. <https://www.who.int/publications/i/item/covid-19-and-food-safety-guidance-for-food-businesses> (Erişim tarihi: 20.05.2021).
- WHO (2020f). Coronavirus disease (COVID-19) advice for the public: when and how to use masks. World Health Organization. <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/advice-for-public/when-and-how-to-use-masks> (Erişim tarihi: 20.05.2021).
- WHO (2020g). Considerations in the investigation of cases and clusters of COVID-19. World Health Organization. <https://www.who.int/publications-detail/considerations-in-the-investigation-of-cases-and-clusters-of-covid-19> (Erişim tarihi: 20.05.2021).
- WHO (2020h). Coronavirus disease (Covid-19) outbreak: rights, roles and responsibilities of health workers, including key

- considerations for occupational safety. World Health Organization. [https://www.who.int/publications/i/item/coronavirus-disease-\(covid19\)-outbreak-rights-roles-and-responsibilities-of-health-workers-including-key-considerations-for-occupational-safety-andhealth](https://www.who.int/publications/i/item/coronavirus-disease-(covid19)-outbreak-rights-roles-and-responsibilities-of-health-workers-including-key-considerations-for-occupational-safety-andhealth) (Erişim tarihi: 20.05.2021).
- WHO (2020i). Q&A on coronaviruses (COVID-19). World Health Organization. <https://www.who.int/news-room/q-a-detail/q-acoronaviruses> (Erişim tarihi: 20.05.2021).
- WHO (2020j). WHO recommendations to reduce risk of transmission of emerging pathogens from animals to humans in live animal markets. World Health Organization. <https://www.who.int/health-topics/coronavirus/whorecommendations-to-reduce-risk-of-transmission-of-emerging-pathogens-from-animals-to-humans-in-live-animal-markets> (Erişim tarihi: 20.05.2021).
- WHO (2020k). Laboratory testing for 2019 novel coronavirus (2019-nCoV) in suspected human cases. World Health Organization. <https://www.who.int/publications/i/item/10665-331501> (Erişim tarihi: 20.05.2021).
- WHO (2020l). Getting your workplace ready for COVID-19: how COVID-19 spreads. World Health Organization. <https://www.who.int/publications/m/item/getting-your-workplace-ready-for-covid-19-how-covid-19-spreads> (Erişim tarihi: 20.05.2021).
- Wong, S.H., Lui, R.N.S., Sung, J.J.Y. (2020). Covid-19 and the digestive system. *Journal of Gastroenterology and Hepatology*, 35 (5), 744-748. doi: 10.1111/jgh.15047.
- Wu, Y., Guo, C., Tang, L., Hong, Z., Zhou, J., Dong, X., Yin, H., Xiao, Q., Tang, Y., Qu, X., et al. (2020). Prolonged presence of SARS-CoV-2 viral RNA in faecal samples. *The Lancet Gastroenterology & Hepatology*, 5(5), 434-435.
- Xiao, F., Tang, M., Zheng, X., Liu, Y., Li, X., Shan, H. (2020). Evidence for gastrointestinal infection of SARS-CoV-2. *Gastroenterology*, 158(6), 1831-1833. doi: 10.1053/j.gastro.2020.02.055.
- Yannas, F. (2020). FDA's perspective on food safety and availability during and beyond COVID-19. <https://www.fda.gov/food/conversations-expertsfood-topics/fdas-perspective-food-safety-and-availability-during-and-beyond-covid19> (Erişim tarihi: 20.05.2021).
- Ziady, H., Halasz, S., Kottasova, I. (2020). The giant meatpacking company at the heart of Germany's new coronavirus hotspot. CNN (Cable News Network) Business. <https://edition.cnn.com/2020/06/22/business/meat-plant-germany-coronavirus-outbreak/index.html> (Erişim tarihi: 20.05.2021).



# Hexarotor Longitudinal Flight Control with Deep Neural Network, PID Algorithm and Morphing

Oguz Kose<sup>1\*</sup>, Tugrul Oktay<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Gumushane University, School of Applied Sciences, Department of Aviation Management, Gumushane, Turkey, (ORCID: 0000-0002-8069-8749), oguzkose24@gmail.com

<sup>2</sup> Erciyes University, Department of Aeronautical Engineering, Kayseri, Turkey, (ORCID: 0000-0003-4860-2230), tugruloktay52@gmail.com

(First received 2 June 2021 and in final form 15 August 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.946884)

**ATIF/REFERENCE:** Kose, O., Oktay, T. (2021). Hexarotor Longitudinal Flight Control with Deep Neural Network, PID Algorithm and Morphing. *European Journal of Science and Technology*, (27), 115-124.

## Abstract

Unmanned Aerial Vehicles (UAV) have become an integral part of life, from military operations to entertainment. With this popularity, the interest of researchers on these UAVs has gradually increased. The use of UAVs in many areas and the researches carried out by researchers have revealed the limitations of these devices. At the beginning of these restrictions is the passage through the narrow space. In this study, longitudinal flight control of a hexarotor UAV is discussed with morphing. The limitation of this study is that it is difficult to estimate the moment of inertia and proportional integral derivative (PID) coefficient values according to the arm length, since there is a change in the hexarotor arm lengths with the morphing and the rigid body model changes accordingly. In this study, it is aimed to obtain these parameters with the Deep Neural Network (Artificial Neural Network (ANN) with two or more hidden layers) to overcome this problem. 15 drawings of hexarotor morphing states were drawn in Solidworks program. A training set was created by obtaining the PID coefficients for the longitudinal flight of these drawings from the Matlab/Simulink program. The training set was taught to the Deep Neural Network and moments of inertia and PID coefficients were obtained according to the arbitrarily estimated arm extension or shortening rates. In addition, the hexarotor dynamic model was derived according to the Newton-Euler approach and modeled using the state space model. The longitudinal flight of the hexarotor is simulated with the state space model. The moment of inertia and PID coefficients were estimated by Deep Neural Network according to the values determined by the program randomly together with the initial state. Simulations were made with these parameters and the results were given in graphics.

**Keywords:** Hexarotor, Deep Neural Network, PID, UAV, Control, Artificial Neural Network.

## Deep Neural Network, PID Algoritması ve Başkalaşım ile Hexarotor Boylamasına Uçuş Kontrolü

### Öz

İnsansız Hava Araçları (İHA) günümüzde askeri operasyonlardan eğlenceye kadar yaşamın ayrılmaz bir parçası durumuna gelmiştir. Bu popülerite ile birlikte araştırmacıların da bu İHA'lar üzerine olan ilgisi giderek artmıştır. İHA'lar birçok alanda kullanılması ve araştırmacılar tarafından yapılan araştırmalar bu cihazların da kısıtlamalarını ortaya çıkarmıştır. Bu kısıtlamaların başında özellikle dar alandan geçiş gelmektedir. Bu çalışmada bir hexarotor İHA'nın boylamasına uçuş kontrolü başkalaşım ile ele alınmıştır. Bu çalışmada ki kısıt ise başkalaşım ile birlikte hexarotor kol uzunluklarında değişim olması ve buna bağlı olarak katı cisim modeli değiştiğinden dolayı atalet momenti ve oransal integral türev (PID) katsayı değerlerinin kol uzunluğuna göre tahmin edilmesinin zor olmasıdır. Bu çalışmada bu sorunun üstesinden gelmek için Derin Sinir Ağı (iki yada daha fazla hidden layer içeren yapay sinir ağı) ile bu parametrelerin elde edilmesi amaçlanmıştır. Hexarotor başkalaşım durumlarına ait 15 adet çizim Solidworks programında çizilmiştir. Bu çizimlere ait boylamasına uçuş için PID katsayıları ise Matlab/Simulink programından elde edilerek bir eğitim seti oluşturulmuştur. Eğitim seti Derin Sinir Ağına öğretilerek rasgele olarak tahmin edilen kol uzama ya da kısalma oranlarına göre atalet momentleri ve PID katsayıları elde edilmiştir. Ayrıca hexarotor dinamik modeli ise Newton-Euler yaklaşımına göre türetilmiş ve durum uzay modeli kullanılarak modellenmiştir. Durum uzay modeli ile hexarotor boylamasına uçuş simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Başlangıç durumu ile birlikte rasgele olarak program tarafından belirlenen değerlere göre atalet momenti ve PID katsayıları Deep Neural Network ile tahmin edilmiştir. Bu parametreler ile simülasyonlar yapılarak sonuçlar grafikler halinde verilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Hexarotor, Derin Sinir Ağı, PID, İHA, Kontrol, Yapay Sinir Ağı.

\* Corresponding Author: [oguzkose24@gmail.com](mailto:oguzkose24@gmail.com)

## 1. Introduction

In recent years, with the developing technology, UAVs have become an integral part of life. With this situation, the researchers concentrated their studies on UAVs. UAVs with high maneuverability, structurally simple and cheaper have started to be popular with hobbyists and institutions (Çoban et al., 2019). This type of UAVs have become used in many areas from security to entertainment, from the transportation sector to military operations. In addition, since they are frequently used in areas such as search and rescue and debris detection in regions damaged by natural disasters, they eliminate the risk of life in their pilots (Alaimo et al., 2013).

Hexarotors, one of the UAVs with more rotors than the existing four rotors, are one of the most preferred vehicles in this field. The features that make hexarotor stand out from other UAVs can be listed as payload, maneuverability, more power with six rotors and more lift (Le et al., 2015).

In recent years, many studies have been done on hexarotor modeling, control and simulation. Pflimlin et al., 2007, despite unknown aerodynamic effects and side winds, VTOL took control of an aircraft. The proposed approach aims to overcome the gyroscopic connection problem by utilizing both the thrust mechanism structure and the deviation velocity effect. The designed controller was designed using backstepping techniques that allow fixing the position of the vehicle while predicting unknown aerodynamic effects. Ko et al., 2017 worked on a hexacopter autopilot and its design. They used the PID controller structure in the designed autopilot system. While controlling the roll and yaw movements in the control structure, they also stored the flight data of these movements. Wang et al., 2017 presented a new approach that automatically adjusts PID parameters in the hexacopter. In an experimental test apparatus, the hexarotor inputs and outputs were safely collected and sent to the PID controller structure with the feedback method. He compared the proposed method with the Ziegler-Nichols method. It demonstrated its success by testing the experimental results in the external environment. Sanca et al., 2010 discusses a dynamic model with nonlinear outputs and a hexarotor with backstepping method. The aim was to obtain a mathematical representation of the system not only in hover, but also during take-off and flight. The model has been implemented in Matlab / Simulink environment. Hexarotor simulation model demonstrates the control law and trajectory tracking performance. Oktay et al., 2017 has discussed the multirotor unmanned aerial vehicle for different flight situations. The multirotor mathematical model for longitudinal, lateral and vertical take off and landing is shown by the state space model. Simulations of the control system using PID as a controller were carried out in Matlab / Simulink environment. Multirotor full model drawings were carried out in the Solidworks program. Kose et al., 2020a, 2020b, 2020c, 2020d applied the morphing case on the multirotor. In the system where PID is used as the multirotor control algorithm, the full multirotor model and morphing cases are drawn separately in the Solidworks program. In simulations made in Matlab / Simulink environment using state space model approach, multirotor has been successfully controlled in hover, yaw, longitudinal and lateral flight.

In this article, the hexarotor autopilot system is designed for longitudinal flight simultaneously with the artificial neural network, active morphing and PID controller. The hexarotor model was created with the state space model approach using the

Newton-Euler approach. Simulations were carried out in Matlab / Simulink environment. Hexarotor full model and morphing models were drawn using the Solidworks program. It is difficult to determine the PID coefficients for longitudinal flight according to the morphing state. ANN has been used to overcome this situation. Several morphing states of the hexarotor and values such as the moment of inertia and PID coefficients related to these conditions were obtained. Since these values change according to the arm length, the arm length value constitutes an input value for ANN. A data set including arm length, moments of inertia and PID coefficients was created with the values obtained from experimental data. Using learning models with ANN, it was obtained which moment of inertia value and PID coefficient values would be suitable for which morphing situation. With this method, hexarotor longitudinal flight was carried out under morphing conditions. This article is one of the few studies addressing the morphing state for the hexarotor literature.

## 2. Material and Method

### 2.1. Hexarotor Modelling and Morphing

It is a type of UAV that belongs to a hexarotor multirotor family. Hexarotor model has a symmetrical structure and rigid body. Hexarotor has 6 arms of the same length placed from the center towards the corners of the hexagon. There is a brushless motor at the end of each arm and a propeller is attached to each brushless motor. The hexarotor is symmetrical due to its structure and the hexarotor's center of gravity is in the center of the hexagon. It has six arms, motors and propellers due to its hexagonal structure. Three of the propellers rotate clockwise while the other three rotate counterclockwise. Also, the blade on each propeller is fixed pitch. Hexarotor structure and propeller rotation directions are shown in the figure below.

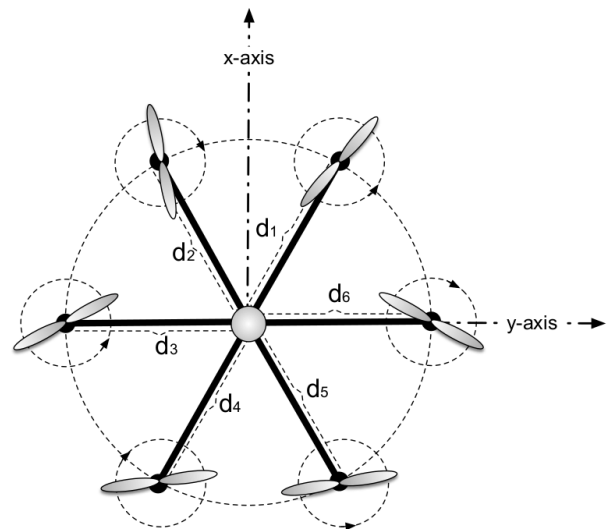


Figure 1. Hexarotor model

Hexarotor movements are controlled by changing the angular velocities of the propellers. Each propeller pushes the air down, producing a separate thrust. The source of thrust is outside the center of gravity. Upward thrusts are used to give motion to the hexarotor. In addition to thrust, a reaction torque arises that is opposite to the motor rotation direction. Three rotors rotating in the same direction and three other rotors rotating opposite to them provide a torque. If all rotors rotate at the same angular speed, the total torque will be zero.

In this article, hexarotor longitudinal flight or pitch movement is discussed. Longitudinal movement is called the movement of the hexarotor on the Y axis as the center of the rotational axis. It is based on the principle of changing the angular velocities of the propellers in the longitudinal movement as in other movements. Since the two propellers in the hexarotor are on the y axis, it will not have any effect on thrust or motion. However, longitudinal movement is achieved by changing the angular velocities of the propellers above and below the y-axis. In Figure 1, let's assume that the x-axis direction points to the hexarotor front. If the speed of the d1 and d2 rotors is decreased and the speed of the d4 and d5 rotors is increased, the hexarotor will perform longitudinal motion.

As shown in Figure 2, two coordinate systems are used to describe the motion of a hexarotor: earth fixed frame, body fixed frame.

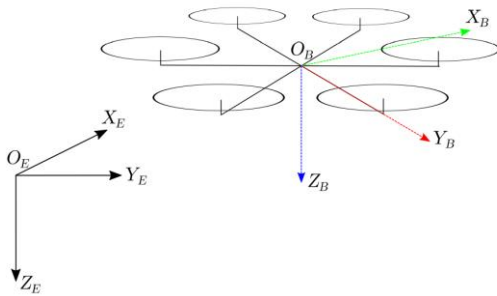


Figure 2. Hexarotor coordinate system

The Earth fixed frame is denoted by  $E$  and represents NED (North, East, and Down). Its origin expressed in  $O_E$  is considered to be coincident with the earth's surface in the starting position of the hexarotor. The body fixed frame is denoted  $B$  and is coincident with its origin,  $O_B$  hexarotor center. The body fixed frame moves according to the earth fixed frame when the hexarotor moves.

Body fixed frame position on the earth fixed frame;

$$\xi_E = (x, y, z)^T \quad (1)$$

The body fixed frame orientation on the earth fixed frame;

$$\eta_E = (\varphi, \theta, \psi)^T \quad (2)$$

where the angles  $\varphi, \theta$  and  $\psi$  are called roll, pitch and yaw respectively. These angles are the Euler rotation angles.

Hexarotor position and orientation can be defined as a second-order differential equation set as follows:

$$\ddot{x} = (\cos \phi \cos \theta \cos \psi + \sin \phi \sin \psi) \frac{U_1}{m} \quad (3)$$

$$\ddot{y} = (\cos \phi \sin \theta \sin \psi - \sin \phi \cos \psi) \frac{U_1}{m} \quad (4)$$

$$\ddot{z} = -g + (\cos \phi \cos \theta) \frac{U_1}{m} \quad (5)$$

$$\ddot{\phi} = \frac{I_y - I_z}{I_x} \dot{\theta} \dot{\psi} + \frac{J_m}{I_x} \omega_G \dot{\theta} + \frac{U_2}{I_x} \quad (6)$$

$$\ddot{\theta} = \frac{I_z - I_x}{I_y} \dot{\phi} \dot{\psi} + \frac{J_m}{I_y} \omega_G \dot{\phi} + \frac{U_3}{I_y} \quad (7)$$

$$\ddot{\psi} = \frac{I_x - I_y}{I_z} \dot{\theta} \dot{\phi} + \frac{U_4}{I_z} \quad (8)$$

In these equations,  $\cos =$  cosine,  $\sin =$  sine,  $g$  gravitational acceleration,  $m$  hexarotor mass,  $I_x, I_y$  and  $I_z$  respectively hexarotor moment of inertia,  $U_1, U_2, U_3, U_4$  represent the hexarotor control inputs. Since longitudinal flight is considered in this study, only the  $U_3$  input will be used.

$$U_3 = \frac{bl\sqrt{3}}{2} (-\omega_1^2 + \omega_3^2 + \omega_4^2 - \omega_6^2) \quad (9)$$

$$\omega_G = -\omega_1 + \omega_2 - \omega_3 + \omega_4 - \omega_5 + \omega_6 \quad (10)$$

Hexarotor is a system with nonlinear dynamics. Using a variety of techniques, nonlinear equations of motion are converted into linear equations. In nonlinear equations, parameters converging to zero are removed from the equation system and linear equations are obtained. Below are the linear motion equations used in the hexarotor system.

$$\dot{x} = g\theta \quad (11)$$

$$\dot{y} = -g\phi \quad (12)$$

$$\dot{z} = -g + \frac{U_1}{m} \quad (13)$$

$$\ddot{\phi} = \frac{U_2}{I_x} \quad (14)$$

$$\ddot{\theta} = \frac{U_3}{I_y} \quad (15)$$

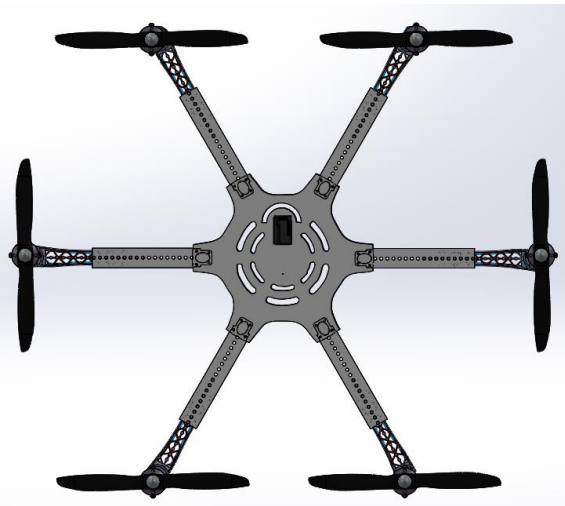
$$\ddot{\psi} = \frac{U_4}{I_z} \quad (16)$$

In this study, since the longitudinal movement is controlled, the variable  $\ddot{\theta}$  is kept under control.

Morphing is a new and developmental feature for UAV systems. Morphing is generally applicable for all UAVs. Morphing is defined as the changes that UAVs cause in their geometric shapes while on the ground or in the air. Morphing is directly related to the aerodynamic nature of the UAV. Hexarotor-type UAVs are also performed as morphing arm lengthening or shortening. A UAV with morphing feature can save battery, work at longer ranges and adjust the payload it carries according to its aerodynamic structure by adjusting its aerodynamic structure according to its own algorithm.

In this study, a hexarotor morphing case is discussed. The morphing case was realized by lengthening or shortening the hexarotor arms. In the case of morphing, the aerodynamic structure will be directly affected as the hexarotor arm lengths change. With morphing, arm length changes and its distance from the rotation axis changes. This causes a change in the hexarotor moments of inertia. Moments of inertia are used as parameters directly used in equations of motion (Oktay et al., 2017). The morphing cases of a hexarotor are shown in the figure below.





(a)



(b)

Figure 3. (a) Hexarotor normal state, (b) Hexarotor morphing state

Hexarotor has an outer arm. It has an inner arm that moves inside the outer arm. The inner arm moves inside the outer arm to perform the morphing process. With each morphing step, the arms lengthen or shorten by 1.5 cm. Hexarotor arms have a length of 41.4 cm in the initial state. While this length is 51.9 cm when the arms are fully expanded, it is 30.9 cm when the arms are fully closed. In the case of morphing, the hexarotor mass remains constant at 1812 g. This mass includes all equipment such as hexarotor controller, battery, GPS.

Changes in arm lengths result in a change in moment of inertia. The moment of inertia is a property that every object that can be rotated has. It is a scalar quantity that describes how difficult it is to change the angular velocity of an object with a given axis of rotation. In this case, the equation for the mass inertia matrix of the hexarotor will be written diagonally as follows.

$$I = \begin{bmatrix} I_x & 0 & 0 \\ 0 & I_y & 0 \\ 0 & 0 & I_z \end{bmatrix} \quad (17)$$

Arm lengths, hexarotor mass and moments of inertia of the data taken for the test are shown in the table below.

Table 1. Hexarotor mass, arm length and moment of inertia

State	Mass(kg)	Length(m)	$I_x(kg * m^2)$	$I_y(kg * m^2)$	$I_z(kg * m^2)$
1	1.81289	0.519	0,47	0,47	0,12
2	1.81289	0.504	0,47	0,47	0,11
3	1.81289	0.489	0,47	0,47	0,11
4	1.81289	0.474	0,47	0,47	0,11
5	1.81289	0.459	0,47	0,47	0,1
6	1.81289	0.444	0,46	0,46	0,1
7	1.81289	0.429	0,46	0,46	0,1
8	1.81289	0.414	0,46	0,46	0,09
9	1.81289	0.399	0,46	0,46	0,09
10	1.81289	0.384	0,46	0,46	0,09
11	1.81289	0.369	0,46	0,46	0,08
12	1.81289	0.354	0,45	0,45	0,08
13	1.81289	0.339	0,45	0,45	0,08
14	1.81289	0.324	0,45	0,45	0,07
15	1.81289	0.309	0,45	0,45	0,07

## 2.2. Control System and Deep Neural Network

PID control form is a process control method frequently used in industry. The working function of the PID control algorithm is to receive feedback from the controlled process at certain intervals and to correct the control output of the process as a result of the feedback received. Devices working with PID are devices with high sensitivity and adaptability and can be used safely in many applications. The control functions that make up the PID; They are Proportional, Integral and Derivative.

The general structure of PID control is as follows:

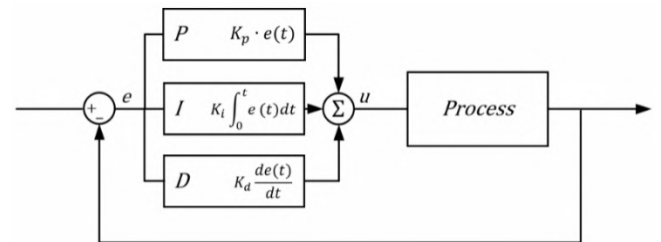


Figure 4. PID structure

The general formulation of PID is given in the equation below.

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t)dt + K_d de(t)/d(t) \quad (18)$$

Artificial neural networks are structures that mimic the brain mechanism. Since the brain is made up of numerous neuron connections, the neural network is formed by the connections of nodes, which are elements that correspond to the brain's neurons. Neural networks use weight values to imitate neurons, the most important mechanism of the brain. The nodes of the input layer merely act as the passage that transmits the input signals to the next nodes. The table below summarizes the similarity between the brain and neural networks.

Table 2. Brain and ANN

Brain	ANN
Neuron	Node
Connection of Neurons	Connection Weight

The figure below shows the structure of the neural network with 3 inputs and 1 output.

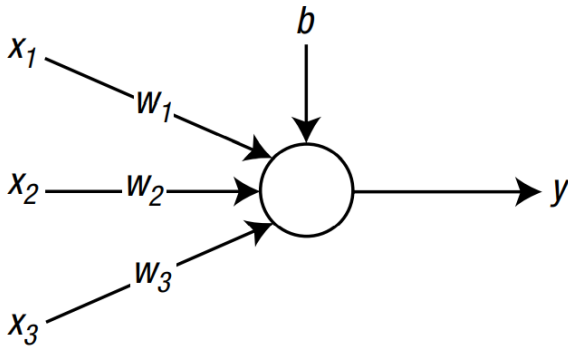


Figure 5. The structure of the neural network with 3 inputs and 1 output

Here  $x_1$ ,  $x_2$  and  $x_3$  are the input signals.  $w_1$ ,  $w_2$  and  $w_3$  are the weights of the input signals.  $b$ , on the other hand, represents the bias value, which is the factor related to information storage.  $y$  is calculated as the output.

As shown in the figure below, one of the most commonly used types of neural networks is the layered node structure.

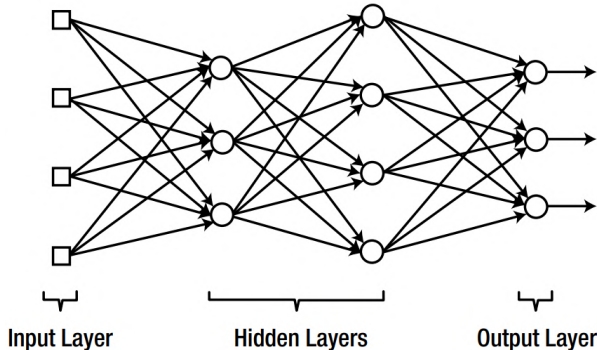


Figure 6. Layered node structure

The layer between the input and output layers is called hidden layers. Because this layer cannot be accessed from outside neural networks. Multilayer neural networks contain two or more hidden layers. These neural networks are called Deep Neural Networks. Most of the modern neural networks used in practical applications are deep neural networks. In a multilayer neural network or Deep Neural Network, the signal enters at the input layer, passes through the hidden layers, and exits at the output layer. During this process, the signal progresses layer by layer. Nodes in one layer receive the signal simultaneously and send the processed signal to the next layer.

In this article, hexarotor moments of inertia and control parameters are obtained according to arm length using deep neural networks. Two hidden layers are used in the deep neural network used. 15 data in Table 1 containing hexarotor morphing cases were drawn in the solidworks program and used as training and validation data for deep neural network. Of the 15 data, 70% was

used for training data and 30% was used for validation data. The flowchart of the program is shown in the figure below.

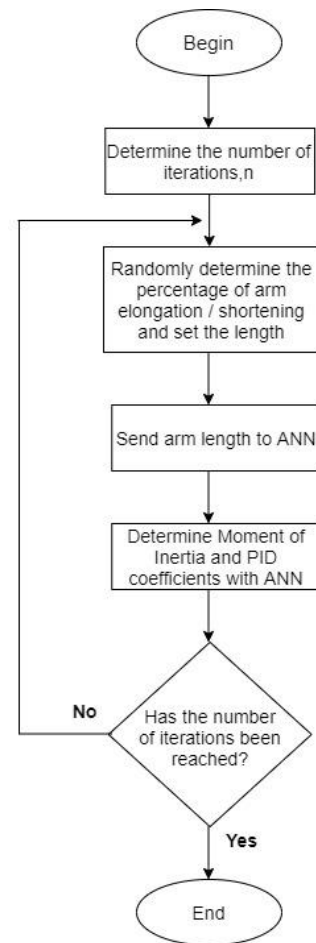


Figure 7. Program flowchart

The Deep Neural Network structure is shown in figure 8. Here it is possible to see the hidden layer and the number of neurons.

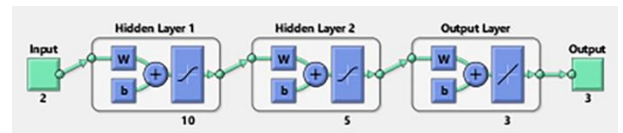


Figure 8. Deep Neural Network structure

Randomly, the percentage of arm lengthening or shortening occurs at the beginning of each iteration. Here, values between -100 and +100 are determined as random values. In the initial state, the hexarotor arms are positioned exactly at the midpoint of 41.4 cm. Morphing is achieved by moving an inner arm with a length of 30.9 cm. There is 10.5 cm for the lengthening and shortening of the arm. If the random value is between -100 and 0, the arm is shortened, and if it is between 0 and 100, the arm is extended. The arm elongation and shortening values are calculated on the remaining arm elongation and shortening values in each iteration. For example; If there is a random value of -40 for the initial state, the new state of the arms is calculated as follows:

- Since it is between -100 and 0, the arm will be shortened.
- Since it is the initial state, the value of 10.5 cm is taken
- The amount of shortening is calculated, it is shortened by  $10.5 \times 40 / 100 = 4.2$  cm.

- With shortening, the arm's future position is calculated,  $10.5-4.2 = 6.3$  cm
- Since the arm is shortened, 6.3 cm of shortening remains in the next iteration.
- Elongation margin is calculated, there will be  $10.5+4.2=14.7$  cm elongation margin.
- The new arm length is calculated,  $6.3+30.9=37.2$  cm becomes the new arm length.
- In the next iteration, the new values are calculated over the shortening margin and elongation margin.
- PID coefficients and new moment of inertia values are obtained by sending the new arm length to the deep neural network.

### 3. Results and Discussion

6 values were randomly estimated for the algorithm. 6 values were randomly estimated for the algorithm. Random values between -100 and +100 are as follows.

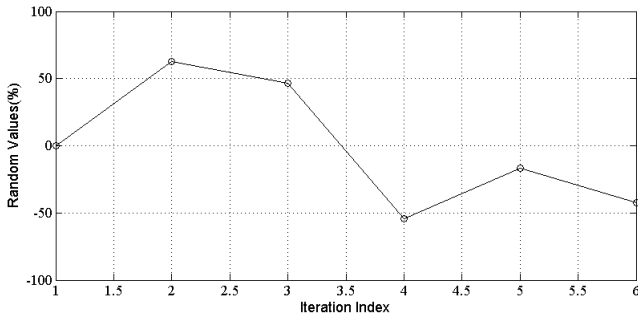
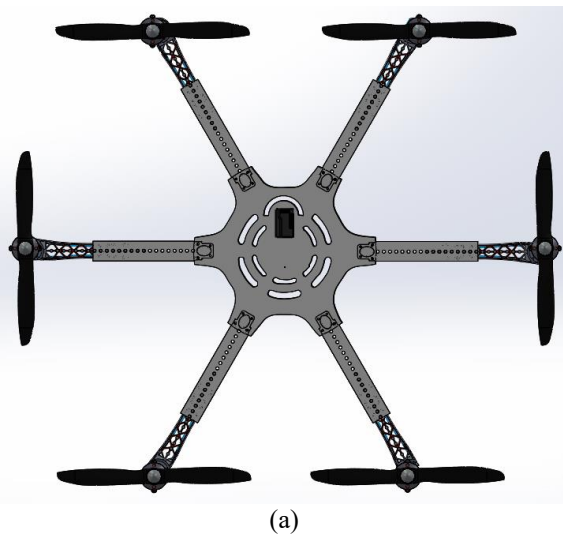


Figure 9. Random values

The hexarotor arm length changes according to the random values will be as follows.



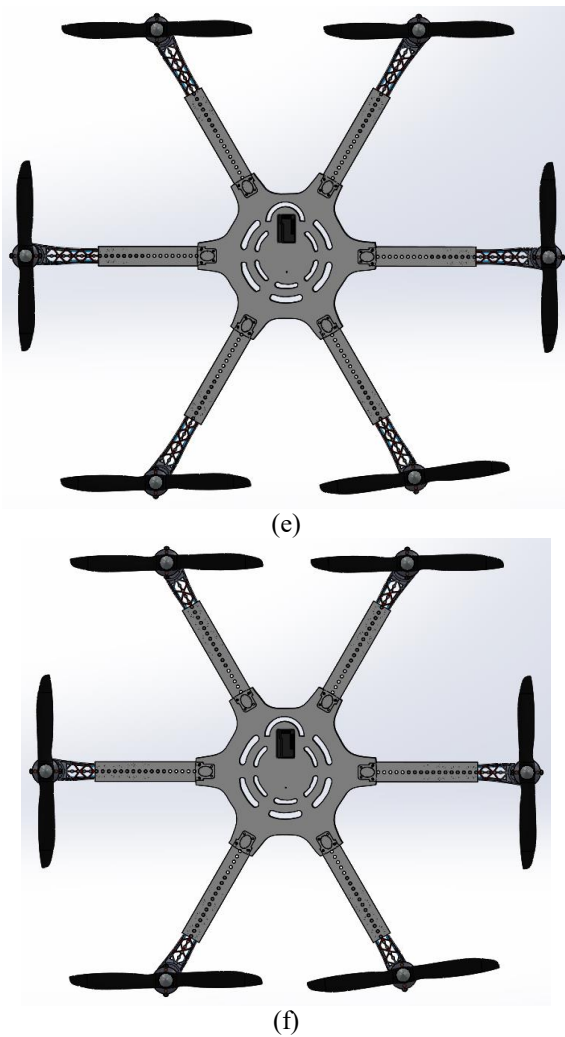


Figure 10. Hexarotor arm length change

Arm lengths calculated according to random values are as follows.

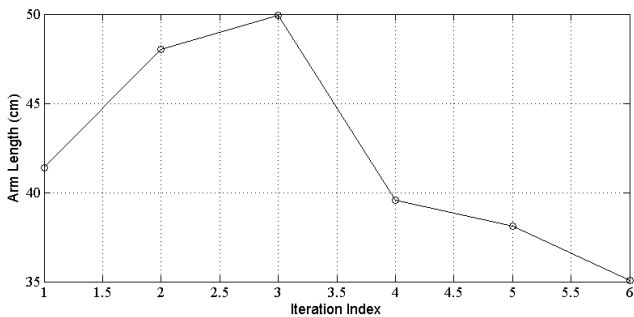
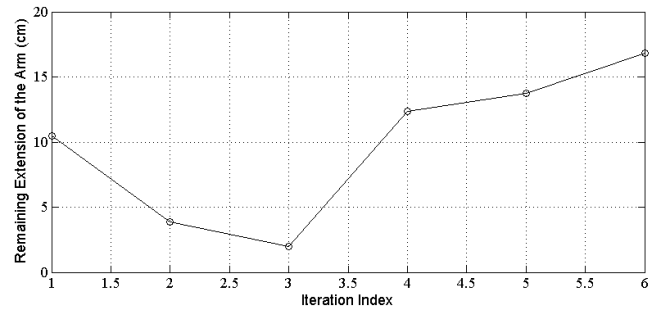
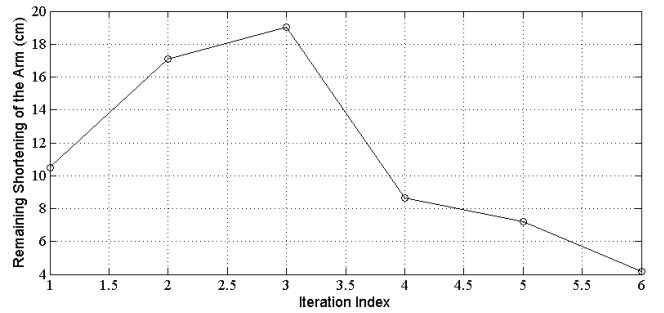


Figure 11. Hexarotor arm length

How much extension and shortening of the arm according to random values in each iteration is shown below.



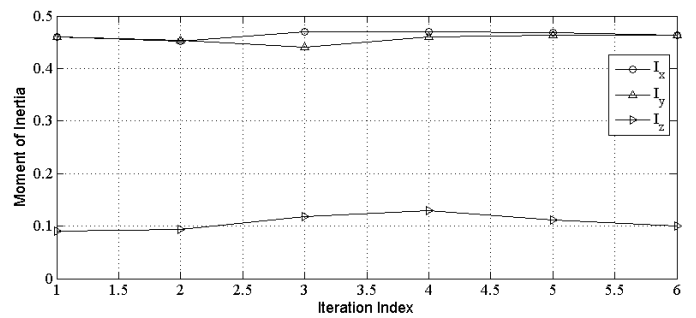
(a)



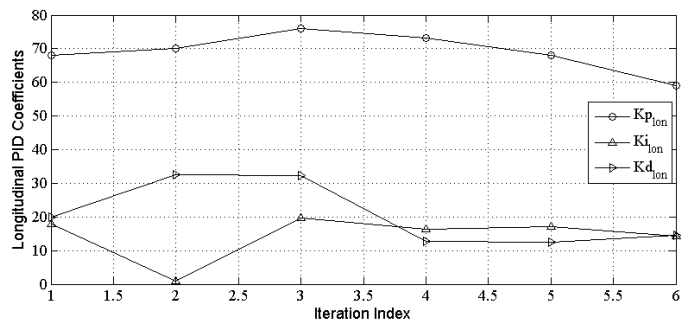
(b)

Figure 12. (a) Remaining amount of extension, (b) Remaining shortening

The arm length calculated in each iteration was sent to the deep neural network and the moments of inertia and PID coefficients were obtained here. The moment of inertia and PID coefficients returned from the deep neural network are given in the graph below for each iteration.



(a)

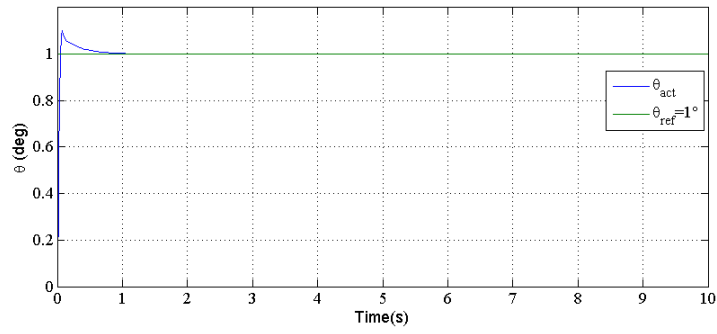


(b)

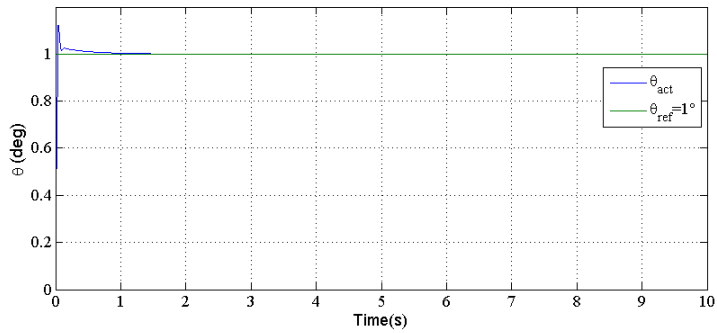
Figure 13. (a) Moment of inertia, (b) PID coefficients

For the moment of inertia and PID coefficients obtained with the deep neural network, a hexarotor longitudinal flight of  $1^\circ$  is

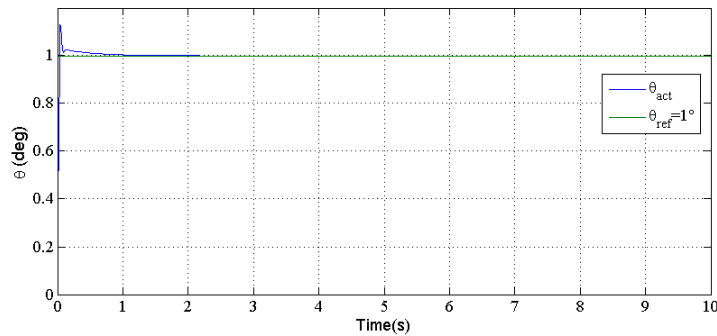
simulated with these values in each iteration. The simulation results gave the following results for each iteration.



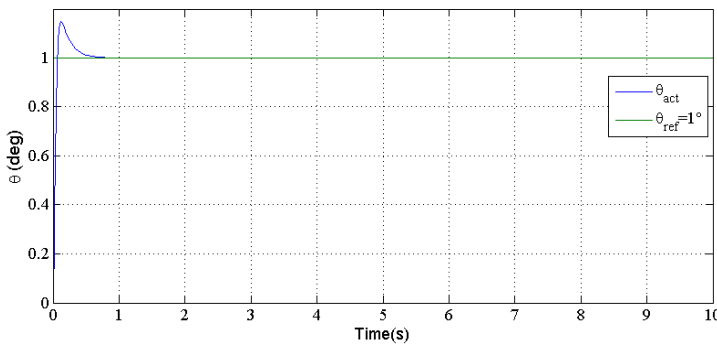
(a)



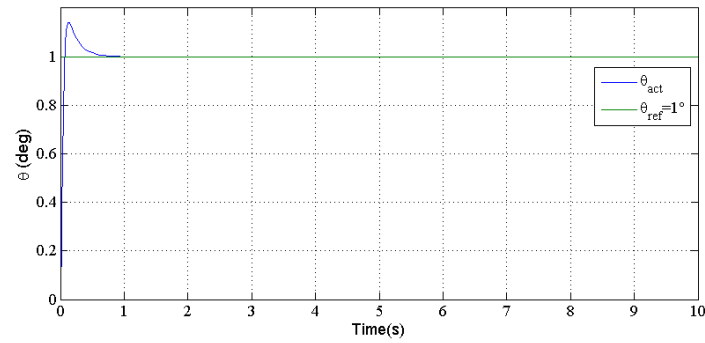
(b)



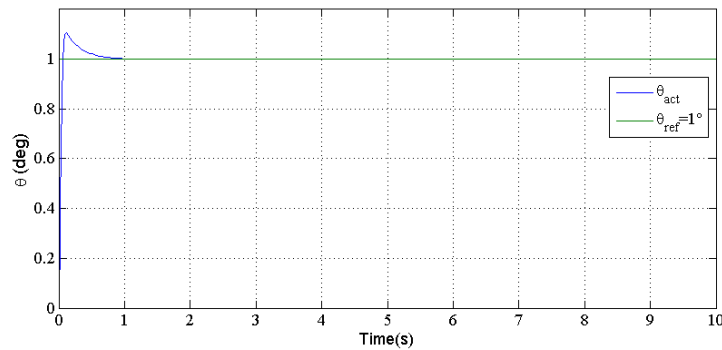
(c)



(d)



(e)



(f)

Figure 14. Simulation result for each random value

## 4. Conclusions

In this article, hexarotor morphing is discussed by longitudinal flight. Determining the moment of inertia and PID coefficients is difficult with analytical methods since the hexarotor arm lengths change in the morphing condition. Therefore, a deep neural network was used to determine the relevant parameters according to arm lengths. For the deep neural network, the moment of inertia values according to the 15 morphing states were obtained from the model drawn in the Solidworks program, and the PID coefficients were obtained from the simulations in the Matlab/Simulink environment. Hexarotor longitudinal flight was controlled by determining 6 random arm lengths according to these values.

1° trajectory was followed in longitudinal flight. Create an effect of morphing states on flight according to simulation results. It is possible to see the effect with the design performance criteria such as rise time, settling time and overshoot.

Table 3. Design performance criteria

	1	2	3	4	5	6
<b>Rise Time</b>	0.030 9 sec	0.020 6 sec	0.020 1 sec	0.043 2 sec	0.044 6 sec	0.040 7 sec
<b>Settling Time</b>	0.452 sec	0.201 sec	0.235 sec	0.436 sec	0.46 sec	0.51 sec
<b>Overshoot</b>	10.2 %	13.7 %	14.5 %	14.9 %	14.4 %	10.8 %

In this study, the effect of morphing and variable UAV parameters on flight was investigated. A more stable and stable

flight was achieved by updating the variable parameters during the flight with the Deep Neural Network.

## References

- Alaimo, A., Artale, V., Milazzo, C., Ricciardello, A., & Trefiletti, L. (2013). Mathematical modeling and control of a hexacopter. *2013 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS)*, 1043–1050.
- ÇOBAN, S., BİLGİÇ, H. H., & OKTAY, T. (2019). Designing, Dynamic Modeling and Simulation of ISTEPCOPTER. *Journal of Aviation*, 3(1), 38–44.
- Ko, W., Oo, K., Tun, H. M., Naing, Z. M., & Moe, W. K. (2017). Design Of Vertical Take-Off And Landing (VTOL) Aircraft System. *International Journal of Scientific & Technology Research*, 6(4), 179–183.
- Kose, O., & Oktay, T. (2020a). *Effect Of Differential Morphing On Yaw Movement In Quadrotors*.
- Kose, O., & Oktay, T. (2020b). Investigation of the Effect of Differential Morphing on Lateral Flight by Using PID Algorithm in Quadrotors. *European Journal of Science and Technology*, 18, 636–644. doi: 10.31590/ejosat.702727
- Kose, O., & Oktay, T. (2020c). The Effect of Differential Morphing on the Hover Flight in Quadcopter. In *Bilgisayar Mühendisliği Çalışmaları 1* (p. 59). Iksad.
- Kose, O., & Oktay, T. (2020d). The Effect of Collective and Differential Morphing on Longitudinal Flight in Quadrotors. N. A. B. BAYRAKTAR (Ed.), 10th. *International Conference on Mathematics, Engineering,*

- Natural and Medical Sciences (pp. 133–142). Batumi, Georgia: Iksad.
- Le, D.-K., & Nam, T.-K. (2015). A study on the modeling of a hexacopter. *Journal of the Korean Society of Marine Engineering*, 39(10), 1023–1030. doi: 10.5916/jkosme.2015.39.10.1023
- Oktay, Tugrul, & Coban, S. (2017). Simultaneous longitudinal and lateral flight control systems design for both passive and active morphing TUAVs. *Elektronika Ir Elektrotechnika*, 23(5), 15–20.
- Oktay, Tuğrul, & Köse, O. (2019). Dynamic Modeling and Simulation of Quadrotor for Different Flight Conditions. *European Journal of Science and Technology*. doi: 10.31590/ejosat.507222
- Pflimlin, J. M., Soueres, P., & Hamel, & T. (2007). Position control of a ducted fan VTOL UAV in crosswind. *International Journal of Control*, 80(5), 666–683. doi: 10.1080/00207170601045034
- Sanca, A. S., Alsina, P. J., & De Jesus F. Cerqueira, J. (2010). Dynamic modeling with nonlinear inputs and backstepping control for a hexarotor micro-aerial vehicle. *Proceedings - 2010 Latin American Robotics Symposium and Intelligent Robotics Meeting, LARS 2010*, 36–42. doi: 10.1109/LARS.2010.14
- Wang, L., & Poksawat, P. (2017). Automatic tuning of hexacopter attitude control systems with experimental validation. *2017 21st International Conference on System Theory, Control and Computing, ICSTCC 2017*, 753–758. doi: 10.1109/ICSTCC.2017.8107127
- $\tau_x = U_2$  = rolling thrust factor;  
 $\tau_y = U_3$  = pitching thrust factor;  
 $\tau_z = U_4$  = yawing thrust factor;  
 $m$  = quadrotor mass;  
 $b$  = thrust factor;  
 $L = l$  = length of arm;  
 $d$  = drag factor;

## Appendix

### Definitions, acronyms and abbreviations

*PID* = proportional integrator and derivative;

*UAV* = unmanned aerial vehicle;

*VTOL* = vertical take-off and landing

*GPS* = global positioning system

*ANN* = artificial neural network

### Symbols

$x$  = position along x axis;

$y$  = position along y axis;

$z$  = position along z axis;

$u$  = velocity in the x axis direction;

$v$  = velocity in the y axis direction;

$w$  = velocity in the z axis direction;

$p$  = roll rate;

$q$  = pitch rate;

$r$  = yaw rate;

$\phi$  = roll angle;

$\theta$  = pitch angle;

$\psi$  = yaw angle;

$g$  = gravitational acceleration;

$I_x$  = moment of inertia about x axis;

$I_y$  = moment of inertia about y axis;

$I_z$  = moment of inertia about z axis;

$w_g$  = total propellers' speed;

$w_1$  = first propeller speed;

$w_2$  = second propeller speed;

$w_3$  = third propeller speed;

$w_4$  = fourth propeller speed;

$w_5$  = fifth propeller speed;

$w_6$  = sixth propeller speed;

$f_t = U_1$  = vertical thrust factor;



# **Partikül Madde (PM<sub>10</sub>) Konsantrasyonunun Kentsel Yeşil Alan Sisteminin Değerlendirilmesinde Ekolojik İndikatör Olarak Kullanımı: İstanbul - Beşiktaş Örneği**

Ahmet Batur<sup>1\*</sup>, Gül Aslı Aksu<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kentsel Sistemler ve Ulaştırma Yönetimi Bölümü, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-1985-2663), [ab.ahmetbatur@gmail.com](mailto:ab.ahmetbatur@gmail.com)

<sup>2</sup> Kastamonu Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Kastamonu, Türkiye (ORCID: 0000-0002-6847-6182), [gaaksu@kastamonu.edu.tr](mailto:gaaksu@kastamonu.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 3 Haziran 2021 ve Kabul Tarihi 15 Ağustos 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.947260)

**ATIF/REFERENCE:** Batur, A. & Aksu, G.A., (2021). Partikül Madde (PM<sub>10</sub>) Konsantrasyonunun Kentsel Yeşil Alan Sisteminin Değerlendirilmesinde Ekolojik İndikatör Olarak Kullanımı: İstanbul - Beşiktaş Örneği. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (27), 125-134.

## **Öz**

Hızlı nüfus artışı ve dolaylı olarak artan plansız kentleşme, kentsel yeşil alanlar üzerinde başta halk sağlığı ve biyolojik çeşitlilik olmak üzere ekosistemi olumsuz etkilemektedir. Bitki örtüsü yapılarının yerel hava kalitesi üzerindeki etkisini anlamak için farklı tasarım senaryoları değerlendirilmeli ve tasarım optimizasyonu için simülasyonlar kullanılmaktadır. Bu amaçla, farklı peyzaj unsurlarına ve yoğun bir nüfusa sahip olduğu için Beşiktaş ilçesi seçilmiştir. Çalışma öncesinde, İstanbul Büyükşehir Belediyesi Çevre Koruma Müdürlüğü Beşiktaş İlçe Ölçüm İstasyonu'na ait 1998-2019 yılları arası PM<sub>10</sub> konsantrasyon değerleri gözden geçirilmiş, aylık ortalamaları temsil edecek şekilde yıllık grafikler hazırlanarak ön araştırma gerçekleştirilmiştir. PM<sub>10</sub> yoğunluğu Şubat ve Nisan aylarında en yüksek değerlere ulaştığı görülmüştür. Araştırma alanında homojen bir dağılım gösterecek şekilde, farklı tip yeşil alanları temsil edecek 23 adet ölçüm noktası belirlenmiştir. DUSTTRAK II ve QUEST EVM 7 cihazları ile planlanan ölçüm noktalarında ölçümler yapılmıştır. Yerinde Ölçüm Bulgularına göre; PM<sub>10</sub> ölçümlerinde hava kalitesi indeks sınırlarına göre hassas düzeyi aşan bir düzey tespit edilmemiştir. 100-150 µg/m<sup>3</sup> hassas düzeyde belirlenmiş; Mustafa Kemal Kültür Merkezi (G $\bar{x}$ =0,107 mg/m<sup>3</sup>), Barbaros Parkı (G $\bar{x}$ =0,092 mg/m<sup>3</sup>), Gültekin Parkı (G $\bar{x}$ =0,092 mg/m<sup>3</sup>), en düşük PM<sub>10</sub> düzeylerinin ise; Garanti BBVA (G $\bar{x}$ =0,046 mg/m<sup>3</sup>) ve Ulus Parkı (G $\bar{x}$ =0,041 mg/m<sup>3</sup>) olduğu görülmüştür. Sonuç olarak; korular başta olmak üzere kentsel yeşil alanların PM miktarı üzerinde anlamlı düzeyde etkili olduğu, yeşil dokunun çevresel yapılar ve özellikle parklar için önemli olduğuna karar verilmiştir. Yeşil dokunun niteliğinin PM seviyesi üzerinde etkili olduğu, yeşil sistemde üniteler arası bağlantısal ilişkilerinin önem arz ettiği tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Hava kirliliği, Kentsel Yeşil Alan Sistemi, Kent Ekosistemi, Partikül madde (PM<sub>10</sub>).

## **The Use of Particulate Matter Concentration (PM<sub>10</sub>) as an Ecological Indicator by the Evaluation of an Urban Green Area System: Istanbul - Besiktas Case Study**

### **Abstract**

Rapid population growth and indirectly increasing unplanned urbanization negatively affect the ecosystem on urban green areas, especially public health and biological diversity. To understand the impact of vegetation structures on local air quality, different design scenarios should be evaluated and simulations are used for design optimization. For this purpose, Beşiktaş district was chosen as it has different landscape elements and a dense population. Before the study, PM<sub>10</sub> concentration values of the Istanbul Metropolitan Municipality Environmental Protection Directorate Beşiktaş District Measurement Station between 1998-2019 were reviewed, a preliminary research was carried out by preparing annual graphs to represent monthly averages. It was observed that the PM<sub>10</sub> concentration reached its highest values in February and April. Twenty-three measurement points were determined to represent different types of greenway in a homogeneous distribution in the research area. Measurements were made at the planned measurement points with DUSTTRAK II and QUEST EVM 7 devices. According to On-Site Measurement Findings; areas with high PM<sub>10</sub> levels; Mustafa Kemal Cultural Center (G $\bar{x}$  = 0,107 mg/m<sup>3</sup>), Barbaros Park (G $\bar{x}$  = 0,096 mg/m<sup>3</sup>), Gültekin Park (G $\bar{x}$  = 0,092 mg/m<sup>3</sup>), while the lowest PM<sub>10</sub> levels are; Garanti BBVA (G $\bar{x}$  = 0,046 mg/m<sup>3</sup>) and Ulus Park (G $\bar{x}$  = 0,041 mg/m<sup>3</sup>) were observed. According to the results obtained in the research; urban green areas, especially groves, have a significant effect on PM. It has also been observed that the green texture is important for environmental buildings and parks. The components of green tissue (biomass, high woody mixed nature) is

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



thought to affect PM levels. In addition, possible damages of the vegetation system in the form of unconnected or disconnected units were prevented by the green roof systems in these regions.

**Keywords:** Air pollution, Urban green system, Urban ecosystem, Particulate matter (PM<sub>10</sub>).

## 1. Giriş

Dünyadaki hızlı nüfus artışıyla beraber ivmelenen plansız kentleşme sürecine bağlı olarak yeşil alanlar üzerindeki olumsuz baskı her geçen gün artmaktadır. Bu baskı, türlerin ve yaşama ortamlarının bozulmasına hatta yok olmasına sebep olduğu gibi, insan sağlığını da tehdit eder boyutlara ulaşmıştır (Aksu, 2020).

Forman (1995, 2008), dünyadaki hızlı nüfus artışıyla beraber yayılan kentleşmenin tıpkı bir tsunami gibi kısıtlı araziye yok ettiğine dikkat çekmekte ve aynı zamanda geleceğin mirasını teşkil eden arazi kullanım şekillerine, mekansal desenlere ve ekolojik bakımdan önemli olan birçok sürece yön veren bu devasa yıkımın kontrol altına alınması gerekliliğinin ne kadar önemli olduğunu vurgulamaktadır.

Kentlerin zaman içinde nüfus artışı gibi nedenlere bağlı olarak konut yerleşim ihtiyacının büyümesi ile birlikte, şehir genişlemekte büyümekte ve bu büyümeye bağlı olarak çok sayıda problemi de beraberinde getirmektedir (Kayacan vd., 2019). Başta halk sağlığını ve biyolojik çeşitliliği olumsuz yönde etkileyen ve çok sayıda bileşene bağlı olarak şekillenen kentleşme sürecinin ve kent ekosistemi üzerindeki etkilerinin detaylı olarak ele alınması gerekmektedir. Kent ortamında iklim, toprak, su, rölyef, biyolojik çeşitlilik gibi hayati öneme sahip fonksiyonlar, bozulan dengelerin düzeyine bağlı olarak değişime uğramakta, hatta geri dönüşümü çok zor olan bozulmalara maruz kalmaktadır. Kullanım ihtiyacı, habitatlarla uyumlu bir şekilde ilişkilendirilmediğinde, yaşama ortamları üzerinde baskı unsuru teşkil eden bir unsur haline almaktadır. Çok bileşenli oldukları için karmaşık bir yapıya sahip olan doğa-toplum etkileşimleri için sürdürülebilir çözümler üretilebilir üzere kavramsal modellerin ve araçların geliştirilmesi gerekmektedir. Çok ince nüanslara sahip olan bu yolculukta, söz konusu çevre problemine hangi bütüncül bakış açısıyla bakılması ve söz konusu problemin çözümüne giden yolda hangi bileşenlerin dahil edilmesi gerektiği konularının kurgulanması önem kazanmaktadır (Aksu, 2020). Yapay çevrenin, doğal çevre unsurları taşıma kapasitesine göre tasarlanması, ekolojik sürdürülebilirliğin yanı sıra, birey ve toplumun ruh ve beden sağlığı, ayrıca mekansal ve kültürel sürdürülebilirlik için de önkoşul niteliğindedir (Suri, 2020).

Çeşitli yapısal ve işlevsel özelliklerine bağlı olarak farklılık gösteren kentsel açık alanların, odunsu ve/veya otsu bitkiler ile kaplı olan kısımları “Kentsel Yeşil Alan” olarak tanımlanmaktadır. Kentsel yeşil alanlar, tesis edildiği andan itibaren değişen/gelişen, bu değişim/gelişime paralel olarak da ekolojik, rekreasyonel ve estetik etkileri ile farklılaşan alanlardır. Kentsel yeşil alanlar, kente çok yönlü katkı sağlayan önemli mekanlardır (Bilgili, 2009).

Kentsel yeşil alanların başta ekolojik, ekonomik, sosyal ve planlama bakımından olmak üzere çok sayıda önemli ve hatta hayati işlevi bulunmaktadır (Bilgili, 2009). Bununla birlikte altyapı sistemlerinin ekosistem fonksiyonlarını destekleyici nitelikte olması önem taşımaktadır (Tuna, 2021). Hava kirliliğini azaltma ve dengeleme işlevi de bu önemli işlevlerden bir tanesidir. Yeşil alanların hava kirliliğini azaltmadaki en önemli rol, havadaki partikül maddeleri absorbe edebilme özellikleridir.

Bitkiler kendileri toz üretmemekle birlikte, yaprak yüzeylerindeki mum tabakası ve yaprak tüyleri yardımıyla havadaki tozları absorbe edebilmektedir (Şahin, 1989).

Genel algıda bitkilendirme tasarımı, estetik unsurlarıyla ön plana çıkan bir düzenleme olarak yer etse de bitkisel peyzaj tasarımında fonksiyonel niteliklerin gözardı edilmesi düşünülemez. Özellikle kent ekosisteminde, parçalanma süreçleri ve yeşil alandan yapısal doğru cereyan eden hızlı dönüşüm süreci göz önünde bulundurulduğunda, bitkiler hem işlevlerin hem de mekansal düzenlenişlerin devamlılığını sağlayan başlıca unsurlar olarak karşımıza çıkmaktadır (Aksu, 2017).

Bitki örtüsünün, yapıların yerel hava kalitesi üzerindeki olumsuz etkilerini dengeleyici birçok farklı özelliği vardır ve duruma göre en uygun evrensel çözümün ortaya konabilmesi için farklı tasarım senaryolarının yerel hava kalitesi üzerindeki etkisini analiz etmeyi ve tasarım kararını optimize edebilmeyi sağlayacak araçlara ihtiyaç duyulmaktadır. Bilgisayar simülasyonları bu anlamda önemli bir boşluğu doldurmaktadır (Deng vd., 2019).

Çok karmaşık ilişkilerden beslenen ekosistem fonksiyonlarını anlamak üzere çok sayıda ekolojik gösterge kullanılmaktadır. Havadaki partikül madde miktarı da kent ekosisteminde cereyan eden çok sayıda döngüde meydana gelen bozulmaların göstergesi olabilmektedir. Tarım aktiviteleri, trafik kirleticileri, enerji yanma ve üretim endüstrileri, biyolojik kaynaklar, deniz trafiği gibi doğal ve yapay kirleticiler ekosistem fonksiyonlarını etkileyen faktörler arasındadır.

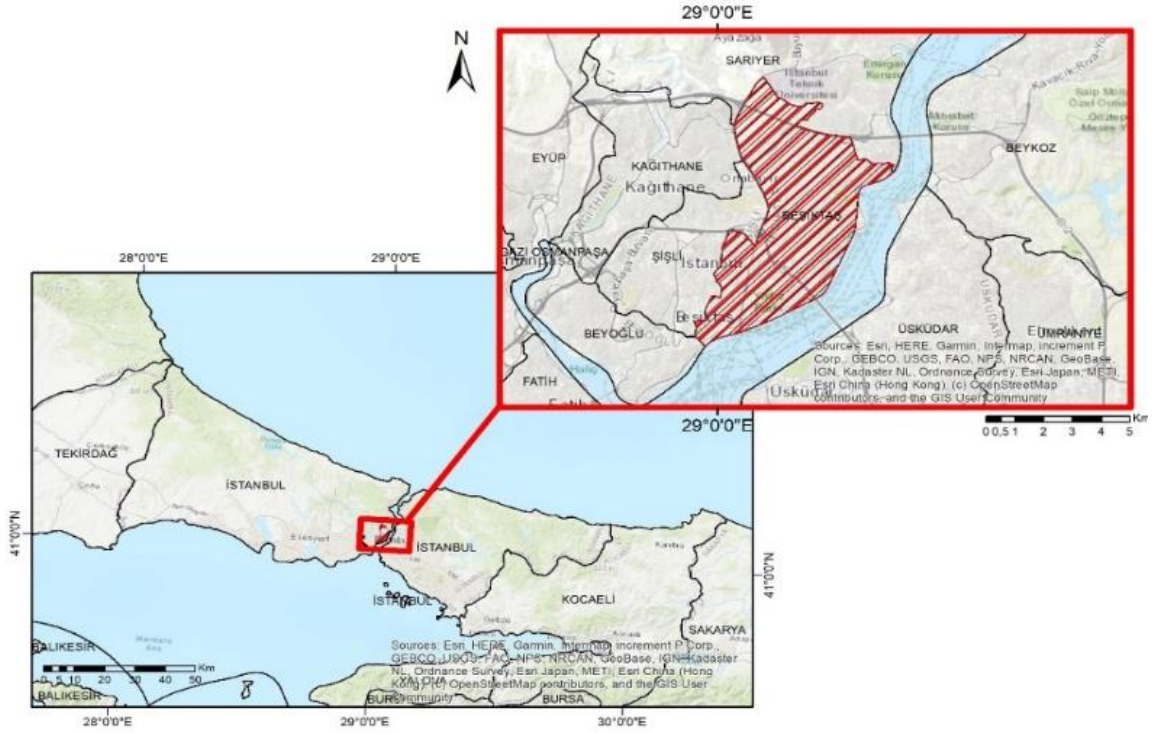
Kentsel yeşil alanlar (KYA), biriktirme yolu ile ince ve çok ince toz (PM<sub>10</sub> ve daha küçük) parçacıklarını filtreleme potansiyeline sahiptir. Bu nedenle, özellikle partikül kaynaklarının yoğun şekilde kirlettiği alanlarda hava kalitesini iyileştirmek için bitki örtüsünün potansiyelinin araştırılması önem kazanmaktadır.

Bu çalışmada, yoğun kentleşme baskısı altında olan bir alanda, KYA'nın PM konsantrasyonu ile ilişkisi, yerinde ölçümlerle değerlendirilmiştir. Merkezi konumu, yoğun nüfusu ve etkisi altında bulunduğu çok sayıda doğal-kültürel etkenler dolayısıyla İstanbul İli'nin Beşiktaş İlçesi, bu ilişkilerin değerlendirilmesi için örnek alan olarak tercih edilmiştir. Gerçekleştirilen bu araştırmanın İstanbul İli ve Türkiye genelinde PM ile ilgili yapılmış araştırmaları destekleyeceği ve KYA sistemlerinin ekolojik indikatörler yardımıyla fonksiyonel olarak kent ekosistemini destekleyici nitelikte kurgulanmasına yönelik yapılacak olan çalışmalara katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Materyal

Merkezi konumundan ötürü araştırma alanı olarak İstanbul iline bağlı Beşiktaş ilçesi seçilmiştir. Beşiktaş İlçesi'nde 23 mahalle, 875 sokak/ cadde ve İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nin sorumluluk alanında olan 31 ana arter bulunmaktadır (Şekil 1).

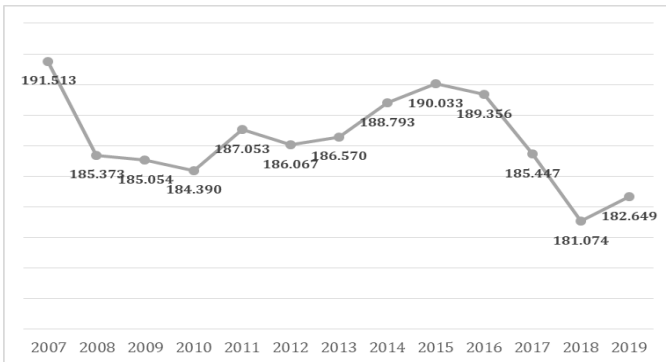


Şekil 1. Araştırma alanının konumu (İstanbul, Beşiktaş İlçesi)

Beşiktaş ilçesinin çalışma bölgesi olarak seçilmesinin diğer bir sebebi ise nüfus olarak İstanbul ilinin en kalabalık ilçelerinden biri olmasıdır. 1950'lerde Beşiktaş'ın iç kesimlerinin iskana açılmasıyla Levent ve Etiler mahallelerinin doğusu, Barbaros Bulvarı'nın inşası, Boğaziçi sahil yolunun genişletilmesi gibi kent içi ulaşımı artıran etkenler ekonomik yaşamı da canlandırmıştır.

Bu canlılık, 1973 yılında 1. Köprü'nün açılmasıyla artarak sürmüştür, 1980'lerde ise Beşiktaş'ı merkezi bir iş alanı durumuna getirmiştir. Bunun yanında; iş ve alışveriş merkezleri, beş yıldızlı oteller, çok sayıda kamu ve konsolosluk yapısı da bu ilçede yer almaktadır.

Beşiktaş'ın nüfusu 1935-1985 arasında yavaş ama düzenli bir artış göstermiştir. 1980'lerden itibaren 180-200.000 kişi arasında seyreden nüfustaki yükselme trendi yavaşlamıştır (Şekil 2). Bunun nedeni, ilçedeki konut alanının büyük ölçüde sınır noktasına varmış olması ve belirli bölgelerin merkezi iş alanı özelliği kazanması, dolayısıyla nüfus sayımlarında esas alınan gece nüfusunun giderek azalma eğilimi göstermesidir (TÜİK, 2021).



Şekil 2. 2007-2019 yılları arası Beşiktaş İlçesi Nüfus Değişim Trendi (TÜİK, 2021).

Beşiktaş Belediyesi Park ve Bahçeler Müdürlüğü'nün yetki ve sorumluluğunda toplam 399.295 m<sup>2</sup>'lik alanı kapsayan 128 park, 132.950 m<sup>2</sup>'lik alanı kapsayan 43 okul bahçesi ve 377.755 m<sup>2</sup>'lik alanı kapsayan yeşil alan bulunmaktadır (Beşiktaş Belediyesi, 2021).

## 2.2. Yöntem

Öncelikle İstanbul Büyükşehir Belediyesi Çevre Koruma Müdürlüğü Beşiktaş İlçe Ölçüm İstasyonu'na ait 1998-2019 yılları arası PM<sub>10</sub> konsantrasyon değerleri gözden geçirilmiş, aylık ortalamaları temsil edecek şekilde yıllık grafikler hazırlanmıştır. Yapılan bu değerlendirme, araştırma alanında PM<sub>10</sub> konsantrasyonunun Şubat ve Nisan aylarında en yüksek değerlere ulaştığını göstermiştir. Yüksek konsantrasyon oranları göz önünde bulundurularak aynı zamanda kış ve bahar olmak üzere farklı mevsimleri temsil kabiliyeti de olan bu aylar, ölçüm yapmak üzere tercih edilmiştir.

Araştırma alanında olabildiğince homojen bir dağılım gösterecek şekilde, farklı tip yeşil alanları temsil edebilecek 23 adet ölçüm noktası tayin edilmiştir. DUSTTRAK II ve QUEST EVM 7 cihazları yardımıyla PM ölçümü yapılan noktalar Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Araştırma ve Ölçüm Cihazına Göre Ayrılmış Ölçüm Bölgeleri.

Ölçüm Noktası	Ölçüm Cihazı	KYA Tipi	Koordinatlar
Gayrettepe Parkı	Dusttrak II	Park	41.062920, 29.007872
Balmumcu Parkı	Dusttrak II	Park	41.059410, 29.015013
Ortaköy Mezarlığı	Dusttrak II	Mezarlık	41.059231, 29.018774
Gültekin Parkı	Dusttrak II	Park	41.052025, 29.025145
Yıldız Korusu 1 Alt Bölüm	Dusttrak II	Koru	41.045410, 29.015753
Yıldız Korusu 2 Üst Bölüm	Dusttrak II	Koru	41.050171, 29.014286
Aşık Veysel Parkı	Dusttrak II	Park	41.0564454, 29.010113
Serencebey Parkı	Dusttrak II	Park	41.047504, 29.008425
Dünya Barış Parkı	Dusttrak II	Yol Kenarı YA	41.050808, 29.002768
Barbaros Parkı	Dusttrak II	Park	41.041649, 29.006310
Bjk Vodafone Stadı Yan Yolu	Dusttrak II	Yol Kenarı YA	41.037640, 28.994255
Garanti BBVA GM	Quest EVM 7	Park	41.072845, 29.016649
Levent Çamlık Parkı	Quest EVM 7	Yol Kenarı YA	41.081867, 29.014460
Sabancı Center Metro	Quest EVM 7	Park	41.085522, 29.008005
Sporcular Parkı	Quest EVM 7	Yol Kenarı YA	41.087067, 29.014221
Oyak Parkı	Quest EVM 7	Park	41.093655, 29.014605
Mustafa Kemal KM	Quest EVM 7	Yol Kenarı YA	41.092697, 29.026861
Sanatçılar Parkı	Quest EVM 7	Park	41.082867, 29.029654
Etiler Metro	Quest EVM 7	Yol Kenarı YA	41.082329, 29.037477
Bebek Parkı	Quest EVM 7	Park	41.075443, 29.043890
Aykut Barka Deprem Parkı	Quest EVM 7	Park	41.073631, 29.030798
Ulus Parkı	Quest EVM 7	Park	41.063580, 29.032162
Cemil Topuzlu Parkı	Quest EVM 7	Park	41.053642, 29.034075

### 2.3. Ölçüm Araçları

Ön araştırma ile ölçüm noktalarına ve ölçüm zamanlarına karar verildikten sonra, episod değerler ve uygun çalışma koşullarını temsil edecek şekilde ölçüm planı hazırlanmıştır.

Arazideki ölçümler, hazırlanan ölçüm planı doğrultusunda tek seferde tüm noktalarda olabildiğince eş zamanlı olarak ölçümlerin tamamlanmasını sağlamak üzere iki tip portatif ölçüm aletiyle gerçekleştirilmiştir.

Environmental Monitoring (EVM) zamana bağlı havada bulunan partikül konsantrasyon seviyelerini bir lazer-fotometre ile ölçen ve kaydeden taşınabilir bir görüntüleme cihazıdır. EVM; hava kirlilik elemanlarını ve doğada bulunan gaz ve aerosol gibi maddeleri tanımlamak üzere kullanılmaktadır (TSI Inc., 2021).

EVM çeşitli sensörlere sahiptir. Bunlar; farklı partikül çapları için  $PM_{100}/PM_{10}/PM_{0.1}$  olarak ayarlanabilen partikül sensörü, PID (fotoiyonizasyon) sensörü ve son olarak  $CO_2/H_2S/N_2$  gibi toksik gazların ölçümünde kullanılan sensördür.

EVM'nin kalibrasyonu için öncelikle tiküler, çarpma tertibatına sıfır filtre takılır ve çarpma tertibatı  $PM_{100}$  olarak ayarlanır. Sensör doğru partikül seviyesini tespit ettikten sonra başlangıç ekranındaki atmosfer kalibrasyonuna giriş yapılır ve  $PM$  seçilir. Ön-kalibrasyon sırasında pompa çalışmaya başlar ve filtreden cihaz içine hava çekilir. Kalibrasyon sırasında 0 seviyesine ulaşıldığında cihaz "set" ile sabitlenir ve kalibrasyon kaydedilir. Ölçüm yapılacak süre ayarlandıktan sonra partiküller için çarpma tertibatı  $PM_{10}$ 'a ayarlanır ve ölçüme başlanır.

Atmosferdeki veriler cihaza kaydolmaya başlar. Veri aktarımı için ise DMS yazılımı kullanılmıştır.

DUSTTRAK II Aerosol Monitörü; gerçek zamanlı kütle okumaları yapan, gravimetrik numune toplayan tek kanallı bir lazer fotometredir ve toz, duman, partikül gibi aerosol kirlenici maddeleri ölçer (Şekil 5.6). Bu nedenle alandaki ölçümler,  $PM$  değeri  $90^\circ$  ışık saçılım sensörü ve  $0,1-10 \mu m$  partikül hacmi aralığına sahip DUSTTRAK II ile yapılmıştır.

Ölçümlerle elde edilen  $PM_{10}$  değerleri referans olarak kullanılmıştır. Cihazın Zaman Ağırlıklı Ortalama (TWA) değerinin 15 dakikalık otomatik hesaplama süresi (günde 8 saatlik periyotlar) dikkate alınarak  $PM_{10}$  ölçümleri 15 dakika süreyle yapılmıştır. Ön araştırmada en yoğun  $PM$  ortalamalarının tespit edildiği Şubat-Nisan ayları arasındaki dönem ölçüm yapmak üzere tercih edilmiştir. Yağışsız ve rüzgâr şiddetinin  $3 m/h'$ i aşmadığı rastgele günlerde tüm test noktalarında aynı günde olacak şekilde ölçümler tamamlanmıştır. Ölçülen değerlerin ortalaması alınarak, Ters Mesafe Ağırlıklı (IDW) enterpolasyon yöntemi yardımıyla tüm alana genelleştirilmiştir.

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

### 3.1. Bulgular

QUEST EVM 7 cihazı ile 15 dakikalık ölçüm sonrası en yüksek (max.) ve en düşük (min.)  $PM_{10}$  değerleri ile 15 dakika ortalamaları ( $G\bar{x}$ ) belirlenmiştir (Şekil 4):

- **Gayrettepe Parkı**'nda (41.062920, 29.007872); en yüksek PM<sub>10</sub> oranı  $0,097 \text{ mg/m}^3$ , en düşük PM<sub>10</sub> oranı ise  $0,044 \text{ mg/m}^3$  olarak ölçülmüştür. 15 dakikalık genel ortalama ( $G\bar{x}$ ) ise  $0,054 \text{ mg/m}^3$ 'tür.
- **Balmumcu Parkı**'nda (41.059410, 29.015013); max. PM<sub>10</sub>= $0,086 \text{ mg/m}^3$ , min. PM<sub>10</sub>= $0,053 \text{ mg/m}^3$ ,  $G\bar{x}=0,062 \text{ mg/m}^3$ 'tür.
- **Ortaköy Mezarlığı**'nda (41.059231, 29.018774); max. PM<sub>10</sub>= $0,189 \text{ mg/m}^3$ , min. PM<sub>10</sub>= $0,058 \text{ mg/m}^3$ ,  $G\bar{x}=0,065 \text{ mg/m}^3$ 'tür.
- **Gültekin Parkı**'nda (41.052025, 29.025145) ise; max. PM<sub>10</sub>= $0,631 \text{ mg/m}^3$ , min. PM<sub>10</sub>= $0,007 \text{ mg/m}^3$ ,  $G\bar{x}=0,092 \text{ mg/m}^3$ 'tür.

Ortaköy Mezarlığı, Gayrettepe, Balmumcu ve Gültekin Parkları arasında en yüksek PM<sub>10</sub> değeri **Gültekin Parkı**'da ( $n=0,631 \text{ mg/m}^3$ ), en düşük değer ise yine aynı parkta ölçülmüştür ( $n=0,007 \text{ mg/m}^3$ ).

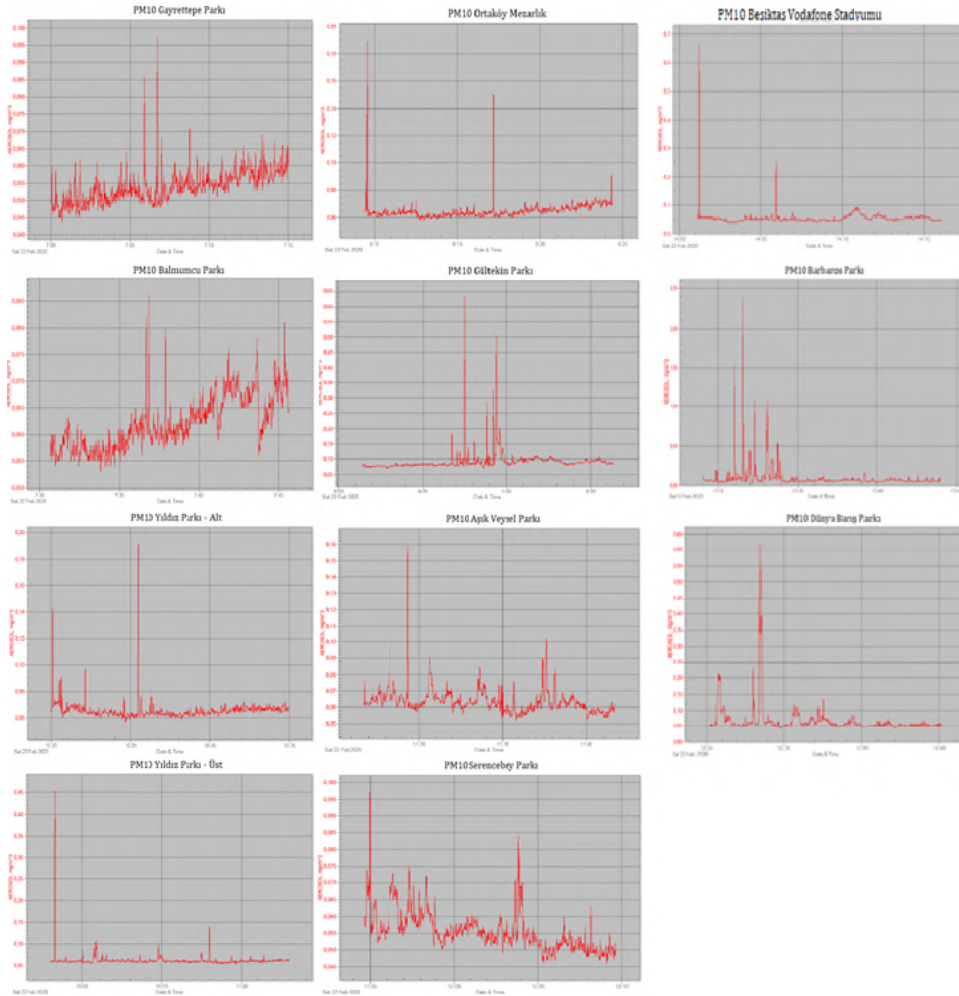
- **Yıldız Korusu 1 (Alt Bölüm)** (41.045410, 29.015753); max. PM<sub>10</sub>= $0,191 \text{ mg/m}^3$ , min. PM<sub>10</sub>= $0,057 \text{ mg/m}^3$ ,  $G\bar{x}=0,065 \text{ mg/m}^3$ 'tür.
- **Yıldız Korusu 2 (Üst Bölüm)** (41.050171, 29.014286); max. PM<sub>10</sub>= $0,453 \text{ mg/m}^3$ , min. PM<sub>10</sub>= $0,055 \text{ mg/m}^3$ ,  $G\bar{x}=0,062 \text{ mg/m}^3$ 'tür.
- **Aşık Veysel Parkı** (41.0564454, 29.010113); max. PM<sub>10</sub>= $0,159 \text{ mg/m}^3$ , min. PM<sub>10</sub>= $0,052 \text{ mg/m}^3$ ,  $G\bar{x}=0,063 \text{ mg/m}^3$ 'tür.

- **Serencebey Parkı**'nda (41.047504, 29.008425); max. PM<sub>10</sub>= $0,097 \text{ mg/m}^3$ , min. PM<sub>10</sub>= $0,046 \text{ mg/m}^3$ ,  $G\bar{x}=0,056 \text{ mg/m}^3$ 'tür.

Yıldız Parkı – Alt ve Üst Bölümleri, Aşık Veysel ve Serencebey Parkı arasında en yüksek PM<sub>10</sub> değeri **Yıldız Parkı – Üst Bölüm**'de ( $n=0,453 \text{ mg/m}^3$ ), en düşük PM<sub>10</sub> değeri ise **Serencebey Parkı**'nda ölçülmüştür ( $n=0,046 \text{ mg/m}^3$ ).

- **Dünya Barış Parkı**'nda (41.050808, 29.002768); max. PM<sub>10</sub>= $0,616 \text{ mg/m}^3$ , min. PM<sub>10</sub>= $0,042 \text{ mg/m}^3$ ,  $G\bar{x}=0,065 \text{ mg/m}^3$ 'tür.
- **Barbaros Parkı**'nda (41.041649, 29.006310); max. PM<sub>10</sub>= $2,390 \text{ mg/m}^3$ , min. PM<sub>10</sub>= $0,043 \text{ mg/m}^3$ ,  $G\bar{x}=0,092 \text{ mg/m}^3$ 'tür.
- **BJK Vodafone Stadı Yanı**'nda (41.037640, 28.994255); max. PM<sub>10</sub>= $0,670 \text{ mg/m}^3$ , min. PM<sub>10</sub>= $0,038 \text{ mg/m}^3$ ,  $G\bar{x}=0,053 \text{ mg/m}^3$ 'tür.

Dünya Barış ve Barbaros Parkları ve Beşiktaş Vodafone Stadyumu arasında en yüksek PM<sub>10</sub> değeri Barbaros Parkı'nda ( $n=2,390 \text{ mg/m}^3$ ), en düşük PM<sub>10</sub> ise Beşiktaş Vodafone Stadyumu'nda ölçülmüştür ( $n=0,038 \text{ mg/m}^3$ ).



Şekil 4. QUEST EVM 7 PM<sub>10</sub> Ölçüm Sonuçları

Benzer şekilde, DUSTTRAK II cihazı ile 15 dakikalık ölçüm sonrası en yüksek (max.) ve en düşük (min.) PM<sub>10</sub> değerleri ile 15 dakika ortalamaları (G $\bar{x}$ ) belirlenmiştir. Şekil 5’de görüldüğü gibi;

- **Garanti BBVA önünde** (41.072845, 29.016649); max. PM<sub>10</sub>=0,079 mg/m<sup>3</sup>, min. PM<sub>10</sub>=0,034 mg/m<sup>3</sup>, G $\bar{x}$ =0,046 mg/m<sup>3</sup>’tür.
- **Levent Çamlık Parkı** (41.081867, 29.014460); max. PM<sub>10</sub>=0,1 mg/m<sup>3</sup>, min. PM<sub>10</sub>=0,046 mg/m<sup>3</sup>, G $\bar{x}$ =0,057 mg/m<sup>3</sup>
- **Sabancı İş Merkezi Metro** (41.085522, 29.008005); max. PM<sub>10</sub>=0,078 mg/m<sup>3</sup>, min. PM<sub>10</sub>=0,048 mg/m<sup>3</sup>, G $\bar{x}$ =0,068 mg/m<sup>3</sup>
- **Sporcular Parkı’nda** (41.087067, 29.014221); max. PM<sub>10</sub>=0,087 mg/m<sup>3</sup>, min. PM<sub>10</sub>=0,053 mg/m<sup>3</sup>, G $\bar{x}$ =0,066 mg/m<sup>3</sup>
- **Oyak Parkı** (41.093655, 29.014605); max. PM<sub>10</sub>=0,113 mg/m<sup>3</sup>, min. PM<sub>10</sub>=0,061 mg/m<sup>3</sup>, G $\bar{x}$ =0,076 mg/m<sup>3</sup>’tür.
- **Mustafa Kemal Kültür Merkezi** (41.092697, 29.026861); max. PM<sub>10</sub>=0,128 mg/m<sup>3</sup>, min. PM<sub>10</sub>=0,083 mg/m<sup>3</sup>, G $\bar{x}$ =0,107 mg/m<sup>3</sup>
- **Sanatçılar Parkı** (41.082867, 29.029654); max. PM<sub>10</sub>=0,096 mg/m<sup>3</sup>, min. PM<sub>10</sub>=0,067 mg/m<sup>3</sup>, G $\bar{x}$ =0,08 mg/m<sup>3</sup>
- **Etiler Parkı’nda** (41.082329, 29.037477); max. PM<sub>10</sub>=0,123 mg/m<sup>3</sup>, min. PM<sub>10</sub>=0,057 mg/m<sup>3</sup>, G $\bar{x}$ =0,069 mg/m<sup>3</sup>

Garanti BBVA, Levent Çamlık Parkı, Sabancı İş Merkezi metro önü ve Sporcular Parkı arasında en yüksek PM<sub>10</sub> değeri

**Sporcular Parkı’da** (n=1,000 mg/m<sup>3</sup>), en düşük PM<sub>10</sub> değeri ise **Garanti BBVA’da** ölçülmüştür (n=0,034 mg/m<sup>3</sup>).

Oyak Parkı, MKKM, Sanatçılar Parkı ve Etiler Metro İstasyonu arasında ise en yüksek PM<sub>10</sub> değeri **MKKM’de** (n=0,128 mg/m<sup>3</sup>), en düşük PM<sub>10</sub> değeri ise **Etiler Metro İstasyonu Önü’nde** ölçülmüştür (n=0,057 mg/m<sup>3</sup>).

Şekil 6.6’da görüldüğü gibi; **Bebek Parkı’nda** (41.075443, 29.043890); en yüksek PM<sub>10</sub> oranı 0,078 mg/m<sup>3</sup>, en düşük PM<sub>10</sub> oranı ise 0,047 mg/m<sup>3</sup> olarak ölçülmüştür. 15 dakikalık genel ortalama ise 0,06 mg/m<sup>3</sup>’tür.

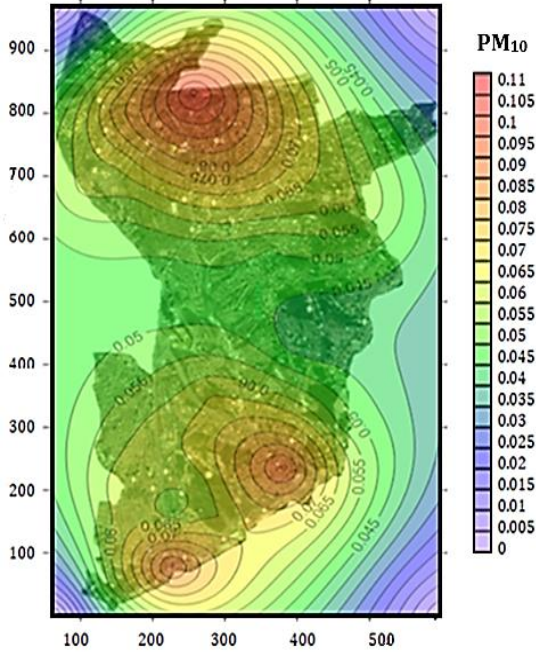
- **Prof. Dr. Aykut Barka Deprem Parkı’nda** (41.073631, 29.030798); max. PM<sub>10</sub>=0,085 mg/m<sup>3</sup>, min. PM<sub>10</sub>=0,04 mg/m<sup>3</sup>, G $\bar{x}$ =0,05 mg/m<sup>3</sup>’tür.
- **Ulus Parkı’nda** (41.059231, 29.018774); max. PM<sub>10</sub>=0,052 mg/m<sup>3</sup>, min. PM<sub>10</sub>=0,033 mg/m<sup>3</sup>, G $\bar{x}$ =0,041 mg/m<sup>3</sup>’tür.
- **Cemil Topuzlu Parkı’nda** (41.053642, 29.034075) ise; max. PM<sub>10</sub>=0,081 mg/m<sup>3</sup>, min. PM<sub>10</sub>=0,038 mg/m<sup>3</sup>, G $\bar{x}$ =0,053 mg/m<sup>3</sup>’tür.

Bebek Parkı, Prof. Dr. Aykut Barka Deprem Parkı, Ulus Parkı ve Cemil Topuzlu Parkı arasında ise en yüksek PM<sub>10</sub> değeri **Prof. Dr. Aykut Barka Deprem Parkı’nda** (n=0,085 mg/m<sup>3</sup>), en düşük PM<sub>10</sub> değeri ise **Ulus Parkı’nda** ölçülmüştür (n=0,033 mg/m<sup>3</sup>). Tüm ölçümlerden elde edilen ortalama değerler tablo 6.1’de gösterilmiştir.



Şekil 5. DUSTTRAK PM<sub>10</sub> Ölçüm Sonuçları

Yapılan ölçümlerin ortalama değerleri IDW enterpolasyon yöntemi yardımıyla tüm alana oranlanmış ve PM<sub>10</sub> yoğunluğu dağılım haritası elde edilmiştir (Şekil 6).



Şekil 6. IDW Enterpolasyon yöntemiyle oluşturulan 22/02/2020 tarihli PM<sub>10</sub> yoğunluğu dağılım haritası.

### 3.2. Tartışma

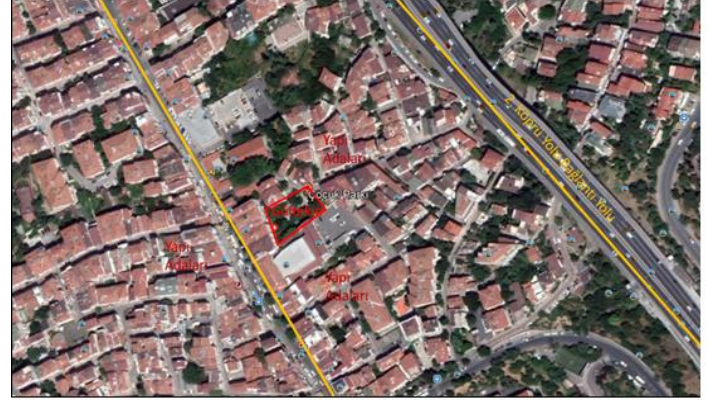
Elde edilen bulgular, PM<sub>10</sub> konsantrasyonu ile yeşil alan arasındaki ilişkilerin belirlenmesini sağlayabilmiştir. Kullanım bakımından belirgin farklılıkları olan yeşil alan tipleri PM<sub>10</sub> konsantrasyonu ile ilişkilendirilerek tartışılmıştır.

Park ve bahçe alanlarında gerçekleştirilen PM<sub>10</sub> ölçümleri değerlendirildiğinde, genelde sonuçların ortalama altı seviyelerde seyrettiği görülmüştür. PM<sub>10</sub> konsantrasyon değerlerinin yükseldiği park alanlarının ise genelde yoğun bir yapısal dokuyla çevrili olduğu ya da ana ulaşım arterlerine yakın bir konumda yer aldığı tespit edilmiştir.

Gültekin Parkı, kentsel yeşil alan olarak oldukça izole bir alandır. Parkın yeşil doku çeşidi ve kalitesi önemli olmakla beraber mevcut çalışmada bu özellikler hakkında detaylı bilgi sunulmamıştır. Bunun yanında, PM<sub>10</sub> değerinin bu bölgede yüksek ( $G\bar{x}=0,092$ ) çıkmasında en önemli etkenin köprü bağlantı yolları ve yerleşim bölgelerine yakınlığı olduğu düşünülmektedir. Özdemir ve arkadaşlarının (2010) Beşiktaş ilçesi'nde yaptıkları çalışmada seçtikleri pilot bölgelerden Gültekin Parkı'na kentsel yeşil alan olarak en yakın karakterde Barbaros Bulvarı çevresi gösterilebilir. Bu sonuçlarla beraber düşünülünce; köprü bağlantı yolları ve yerleşim yoğunluğunun PM<sub>10</sub> seviyesinin artmasında etkili olduğu düşünülmektedir.

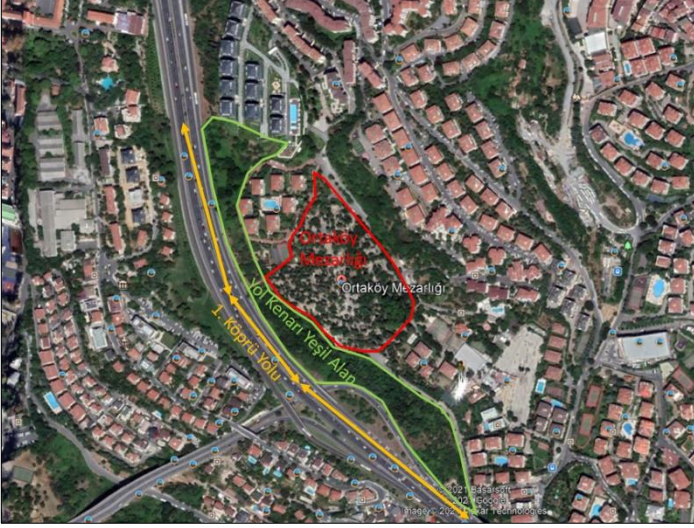
Mevcut çalışmada, Gültekin Parkı ile benzer çevresel özelliklere sahip Oyak Parkı'nın sonuçları da değerlendirilmiştir. Beşiktaş İlçe sınırında bulunan ve gün içinde oldukça yoğun bir trafiğe sahip olan Oyak Park ve çevresi Gültekin Parkı'na göre kısmen düşük PM<sub>10</sub> seviyeleri göstermiş ( $G\bar{x}=0,076$ ) ancak, bu seviyeler ortalamanın üstünde seyretmiştir. Yöredeki yerleşim yoğunluğunun Gültekin Parkı'dan daha az olmasına karşın, PM<sub>10</sub> değerlerinin yüksek çıkması, bölgenin Büyükdere Caddesine yakın olmasına ve hakim rüzgar yönünde (kuzey) inşaat sahalarının yer almasına bağlanmıştır.

Çalışmada elde edilmiş önemli bir sonuç, Ulus Parkı'nda görülmüştür. Parkın PM<sub>10</sub> değerleri diğer parklara göre daha düşük bulunmuştur ( $G\bar{x}=0,041$ ). Özellikle sahil şeridine doğru alçalan eğimli bir arazi üzerinde bulunan ve etrafındaki koru alanlarıyla komşuluk kuran Ulus Parkı'nda PM<sub>10</sub> ortalamalarının en düşük değerde olması çevresel vejetasyonunun yoğunluğundan kaynaklanıyor gibi gözükmektedir (Şekil 7).



Şekil 7. Gültekin, Oyak ve Ulus Parklarının Çevresel Yeşil Alanlar İle Bağlantıları.

Mezarlık ölçüm noktası olarak seçilen Ortaköy Mezarlığı, nispeten odunsu ağaç dokusu gelişmiş bir mezarlık olmakla birlikte 2. Köprü yolu ile komşuluk kurmaktadır. Bunun yanında, ana arter ile mezarlık arasında yoğun odunsu bir ağaç dokusuna sahip bir yol kenarı yeşil alan bulunmaktadır. Bu bölgenin bir tampon konumunda yer alması, Ortaköy Mezarlığı'nda PM<sub>10</sub> ortalama değerlerinin ( $G\bar{x}=0,065$ ) yükselmesine engel olmuştur (Şekil 8).



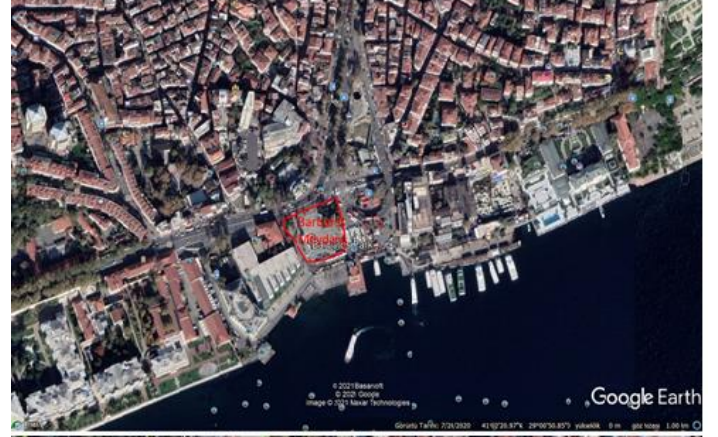
Şekil 8. Ortaköy Mezarlığı ve Ana Arter ile İlişkisi

1. Köprü çevre yolu gibi ana ulaşım arterleriyle ilişkili olan yol kenarı yeşil alanlarda,  $PM_{10}$  konsantrasyonunun yükseldiği tespit edilmiştir. Ortaköy Mezarlığı'na ait ölçümde PM seviyesinin Mustafa Kemal Kültür Merkezi'ne kıyasla düşük çıkmasının sebebi yeşil dokunun köprü gibi ana arterlere nüfuz etmesi ve ölçüm alanlarının önündeki yeşil dokunun filtrasyon görevi görmesi olabilir. Ancak, bu filtrasyonu sağlayacak bir vejetasyon yapısı MKKM'de görülmemektedir.

Yapı adaları ve yol ağları tarafından çevrilmiş olan Barbaros Meydanı'nın ( $G\bar{x}=0,092$ ) da nitelikli bir yeşil alanla komşuluk kurmadığı görülmektedir. 2. köprü yoluna komşu olan MKKM önündeki yol kenarı yeşil alanın bu kısımda oldukça daralması sebebiyle nitelikli bir doku oluşturamadığı tespit edilmiştir. Bu durum, araştırma alanı içerisinde en yüksek  $PM_{10}$  ortalamalarının çıkmasını açıklamaktadır ( $G\bar{x}=0,107$ ).

Yapı adaları ve yol ağlarına ek olarak, yan yol ve ana arterlere yakın olup da  $PM_{10}$  oranının düşük olduğu alanlar da bulunmaktadır [Garanti BBVA GM ( $G\bar{x}=0,046$ ), Bjk Vodafone Stadi Yan Yolu ( $G\bar{x}=0,053$ ), v.b.]. Ana yollara yakın olduğu halde  $PM_{10}$  konsantrasyonu düşük çıkan bu gibi alanların yoğun bir odunsu vejetasyon dokusuyla komşuluk kurdukları ve rüzgâr koridorlarına açık bir konumda yer aldıkları tespit edilmiştir.

BJK Vodafone Stadyumu yan yol yeşil alanda  $PM_{10}$  değerleri oldukça düşük çıkmıştır ( $G\bar{x}=0,053$ ). Test noktasının ana ulaşım arterleri arasında yer almasına rağmen nitelikli koru dokusu tarafından çevrelenmiş olması ve Tarihi Çınarlı Yol ile komşuluk kurması partikül madde konsantrasyonunu tolere etmektedir (Şekil 9).



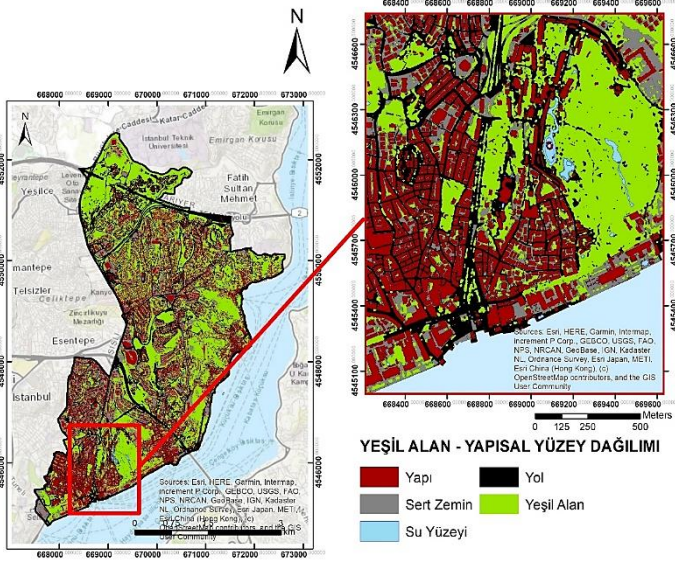
Şekil 9. MKKM Yan Yolu, Barbaros Parkı ve Bjk Vodafone Stadi Yan Yolu ile Çevresel Yapıların İlişkisi

Görüldüğü gibi kent içi yeşil alanlarda  $PM_{10}$  konsantrasyonunu etkileyen başlıca unsurlar arasında nitelikli odunsu bitki dokusunun olup olmaması durumu yer almaktadır. Nitelikli yeşil alanlarla ilişki kuran ve kentsel yeşil alan sisteminin parçası olmayı başarmış olan alanlarda, PM konsantrasyonunun da azaldığı görülmüştür. Yapı adaları ve yol ağları arasında izole olmuş test noktalarında PM oranlarının da yükselmeye başladığı görülmüştür.

Aynı alan için farklı test noktaları üzerinden Aksu ve Tağıl, (2017) tarafından gerçekleştirilen araştırma bulgularının da benzer sonuçlar verdiği görülmüştür.

Araştırma alanında koru özelliği taşıyan alanlar özellikle sahil hattı boyunca yamaçlarda kendini göstermektedir (Şekil 10). Halkın kullanımına açık olan Yıldız Korusu, araştırma alanı içerisinde çok kritik bir konumda yer almaktadır. Yapılaşmanın yoğunlaştığı güney batı bölgesini ayıran Barbaros Bulvarı ile Sahil yolunun kesişiminde önemli bir adım taşı teşkil etmektedir.

Araştırma Alanı'nın odak noktasını teşkil eden bu alanın ekolojik olarak desteklenebilmesi için tüm tedbirlerin alınması önerilmiştir.



Şekil 10. Beşiktaş İlçesi Yeşil Alan ve Yapısal Yüzey Dağılımı

Bitkilerin peyzaj için sağladıkları fonksiyonel ve ekolojik fayda, biyokütleri ile doğru orantılıdır. Özellikle refüjlerde yine estetik kaygılarla bakıma muhtaç çim alanların çalılara ve ağaçlara tercih ediliyor olması, bu fonksiyonel yaklaşımla çelişmektedir. Gerek biyoçeşitliliği artırmak gerekse sağladıkları oksijen miktarı ve havayı filitreleme kapasiteleri bakımından odunsu bitkiler tercih edilmelidir. Yaşama ortamı teşkil etmesi bakımından otsu doku farklı fauna gruplarına hizmet etmektedir ve bu çeşitlik için de ortam oluşturulmalıdır ancak bu dokunun da kendi haline terk edilmiş, farklı otsu türleri barındıran doğal bir yapıda olması tercih edilmeli ve mutlaka odunsu doku ile birlikte çözümlenmelidir (Aksu, 2017).

Yeşil sistemin kalitesi her ne kadar sahip olduğu biyokütle ile doğru orantılı olsa da kritik noktalarda adım taşları, kamalar ve bağlantılarla desteklenmesi ve devamlılığının sağlanması gerekir. Yoğun yapılaşmış olan bölgelerde yeşil çatı ve cephe sistemleri bu görevi üstlenebilmektedir. Bu durumda bağlantısallığın sağlanması öncelikli olduğundan, biyokütle kaybı ikinci planda kalabilmektedir (Aksu, 2017). Bunun yanında, Viecco ve arkadaşlarının (2018) çalışmasında belirtilen vejetasyon farklılıkları mevcut çalışmada değerlendirilememiş ancak, sonuçlar Abhijith ve arkadaşları (2017)'nin açık yol ve yerleşik cadde kanyon bölgelerinde yeşil altyapının hava kirliliğini azaltma üzerine etkilerini inceledikleri derleme ile paralellik göstermektedir. Yıldız Parkı gibi çeşitli ve yüksek oranda vejetasyonun olduğu bölgenin en düşük PM<sub>10</sub> oranına sahip olduğu görülmüştür.

Araştırma alanında korular, yeşil sistem içerisinde en büyük üniteleri teşkil etmektedirler. Korular aynı zamanda karma ağaç dokusuna sahip alanlar olduklarından gerek tür çeşitliliği gerekse ekosistemlerin işlemesi bakımından yeşil sistemin merkez üssünü oluşturmaktadırlar. Ekolojik potansiyelleri peyzaj fonksiyonuna katkı sağlarken büyük bütüncül üniteler teşkil etmeleri peyzaj strüktüründe dikkat çekmektedir. Bir yandan da kent insanının rekreasyonel ihtiyaçlarına cevap vermeye çalışırlar. Koruma-kullanma dengesi bağlamında çok kritik bir konumda yer alan koru alanlarıyla ilgili yönetim, planlama ve/veya tasarım kararları

alınmadan önce bu özellikleri göz önünde bulundurulmalı ve öncelikler belirlenmelidir (Aksu, 2017).

Yapılan PM<sub>10</sub> ölçümlerinde hava kalitesi indeks sınırlarına göre hassas düzeyi aşan (Mustafa Kemal Kültür Merkezi dışında) bir düzey tespit edilmemiştir. Çapraz ve Deniz (2020)'e göre İstanbul geneli Kış dönemi ortalamaları 63.8 µg/m<sup>3</sup> olmakla birlikte, bu değer 100-150 µg/m<sup>3</sup> hassas düzey olarak belirlenebilir (Aksu, 2017). Mevcut araştırma dahilinde ise hassas PM<sub>10</sub> düzeyine sahip alanların; Barbaros Bulvarı-Serencebey Parkı, Maçka Parkı üst, Maçka Parkı alt, Abbasğa Parkı, İhlamur Parkı, Azerbaycan Dostluk Parkı, Gayrettepe Parkı, Gayrettepe Otim Arası, Ortaköy Mezarlığı olduğu görülmüştür.

Ortalama partikül madde miktarının nispeten yüksek olduğu alanlar olarak daha çok park alanları ön plana çıkmaktadır. Mori ve arkadaşlarının (2015) yaptıkları çalışmaya göre kentsel alanlardaki bitki örtüsü PM dahil farklı kirleticilerin olumsuz etkilerini optimize etmede kullanılabilir. Mevcut araştırmada görüldüğü gibi, hassas PM<sub>10</sub> değeri görülen Barbaros ve Gültekin Parkları gibi alanlar, Mori ve arkadaşlarının (2015) önerdiği gibi farklı vejetasyon stratejileri kullanılarak kirlilik birikiminin önüne geçilebilir.

Bu yaklaşım, kentleşme baskısı altındaki peyzajların sürdürülebilirlik esaslarına göre yönetilebilmesi ve yerel yönetimlerin habitatlarla ilgili alacağı uygulama kararlarının devamlılığı açısından büyük önem taşımaktadır. Kentlerin sürdürülebilirliğinden bahsedilmek isteniyorsa, doğa-toplum ilişkilerini dengeleme kabiliyetine sahip uygulamaların hayata geçirilmesi gerekmektedir (Aksu, 2020).

Balmumcu Mahallesi; 1. Köprü, 1. Köprü çevreyolu ve Barbaros Bulvarı gibi üç ana arter arasında kalmış, batıdaki yoğun yapılaşma bölgesi ile doğudaki koru alanları arasında geçiş niteliğinde bir alandır. Bu nedenle, yeşil bağlantı önerileri yoğun olarak getirilmiştir. Ayrıca, ana arterlerin hem gürültü hem de partikül madde ve emisyon zararlarını kesecek perdeleme önerilerinde bulunulmuştur (Şekil 10).

## 4. Sonuç

Çalışmadan elde edilen sonuçlar, sınırlılıklar ve gelecek çalışmalar için izlenebilecek istikametler, aşağıda özetlenmiştir:

- Araştırmada korular başta olmak üzere kentsel yeşil alanların PM üzerinde anlamlı düzeyde etkisi olduğu görülmüştür. Bunun yanında, koruların vejetasyon yapısı ve konumları konusunda detaylı değerlendirme yapılamamıştır. Bu özelliklerin farklı çalışmalarda zenginleştirilmesi literatüre önemli bir katkı sağlayacaktır.
- Yeşil dokunun çevresel yapılar ve özellikle parklar düzeyinde önemli olduğu görülmüştür. Özellikle, Ulus Parkı'nda görülen düşük PM seviyesi çevresel yapılar ile açıklanabilir. Bu anlamda, yüksek PM seviyesine sahip MKKM ve Barbaros bulvarı gibi alanlarda düzenlenecek yeni vejetasyon alanları bu bölgelerdeki kirletici maddenin etkisini azaltabilir.
- Yukarıdaki birinci maddede de belirtildiği gibi yeşil dokunun niteliği (biyokütlesi, yüksek odunsu karma yapısı) PM seviyelerini etkilediği düşünülmektedir.



Nitelikli yeşil doku; çevresel vejetasyon alanları ve koruların zenginliği ile ana arterlere yakın olmasına rağmen PM konsantrasyonunda düşüklüğe neden olmuştur (Örn; Bjk Vodafone Stadı Yan Yolu)

- Araştırmaya göre, kentsel alanda vejetasyonun yapısal alanların içine doğru nüfuz etmesinin, bu bölgelerdeki kirleticileri absorbe ettiği tespit edilmiştir. Bu bağlamda yapılacak peyzaj planlama, yönetim ve tasarım çalışmalarının, başta PM olmak üzere bölgeye özgü çok sayıda kirleticiyi indirgeme yönünde etkili olduğu anlaşılmıştır.
- Yeşil alan sisteminde ünitelerin bağlantısallığının önemi ortaya konmuştur. Öyle ki başka ünitelerle bağlantısı zayıf ya da kopuk olan yeşil alanların kirleticilerle baş etme düzeyinin zayıfladığı görülmüştür. Dolayısıyla özellikle bu tip bağlantısallığın zayıf olduğu bölgelerin yeşil çatı-cephe sistemleriyle desteklenmesinin önemi çalışmada ortaya konmuştur. Prof. Dr. Aykut Barka Deprem Parkı ve Balmumcu Parkı gibi yeşil alanların daha düşük yoğunlukta olan bölgelerde, PM seviyesinin de düşük çıkması, yeşil alan sistemi ilişkilerinin kuvvetli olmasına bağlanmıştır.

## 5. Teşekkür

Yapılan bu çalışmada, TÜBİTAK destekli “İstanbul Beşiktaş İlçesi Ekolojik Planlama Yaklaşımlı Kentsel Peyzaj Planı ve Uygulama Stratejisi” (114O341-TOVAG-TÜBİTAK) başlıklı araştırma projesinin çıktılarından yararlanılmıştır. Desteğinden ötürü TÜBİTAK’a teşekkür ederiz.

## Kaynakça

- Abhijith, K. V., Kumar, P., Gallagher, J., McNabola, A., Baldauf, R., Pilla, F. & Pulvirenti, B. (2017). Air pollution abatement performances of green infrastructure in open road and built-up street canyon environments—A review. *Atmospheric Environment*, 162, 71-86.
- Aksu, G. A. (2017). İstanbul-Beşiktaş İlçesi Ekolojik Planlama Yaklaşımlı Kentsel Peyzaj Planı ve Uygulama Stratejisi. TUBİTAK-ARDEB 3501 kariyer Geliştirme Programı, proje No: 114-O-341, Proje Sonuç Raporu, 5. Bölüm (Tartışma ve Sonuç).
- Aksu, G. A. & Tağıl, Ş. (2017). Effects of Urban Landscape Pattern on PM10 Pollution – A Besiktas Case Study. MESAEP 19th International Symposium on Environmental Pollution and Its Impact on Life in the Mediterranean Region. Rome, Italy
- Aksu, G. A. (2020). Kentsel Peyzaj Planlama ve Sürdürülebilirlik. In G. A. Aksu and L. Suri (Eds.), *Kentsel Peyzaj Planlama ve Sürdürülebilirlik*. (pp. 45) Cinius Yayınları.
- Bilgili, M. S., Demir, A., & Varank, G. (2009). Evaluation and modeling of biochemical methane potential (BMP) of landfilled solid waste: a pilot scale study. *Bioresource technology*, 100(21), 4976-4980.
- Çapraz, Ö., & Deniz, A. (2020). Particulate matter (PM10 and PM2.5) concentrations during a Saharan dust episode in Istanbul. *Air Quality, Atmosp. & Health*, 1-8.

- Deng, S., Ma, J., Zhang, L., Jia, Z., & Ma, L. (2019). Microclimate simulation and model optimization of the effect of roadway green space on atmospheric particulate matter. *Environmental Pollution*, 246, 932-944.
- Forman, R. T. T. (1995). *Land Mosaics*. New York: Cambridge University Press., U.K., ISBN: 978-0-521-479980-6 (PB).
- Forman, R. T. T. (2008). *Urban Regions. Ecology and Planning Beyond the City*. Cambridge University Press, UK., ISBN-13: 978-0-521-67076-0 (PB).
- Kayacan, T., Özel, Y., Kayacan, B. (2019). Kente Kazandırılan Yeni Yaşam Alanları. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, Sayı 16, S. 679-687. DOI: 10.31590/ejosat.592411.
- Mori, J., Hanslin, H. M., Burchi, G., & Sæbø, A. (2015). Particulate matter and element accumulation on coniferous trees at different distances from a highway. *Urban Forestry & Urban Greening*, 14(1), 170-177.
- Özdemir, H., Borucu, G., Demir, G., Yiğit, S., & Ak, N. (2010). İstanbul'daki çocuk oyun parklarında partikül madde (PM2, 5 ve PM10) kirliliğinin incelenmesi. *Ekoloji*, 20(77), 72-79.
- Suri, L. (2020). Housing and Environmental Relations in the Process of Change. *Journal of Strategic Research in Social Science*, 6(1), 51-64. DOI: 10.26579/josr.107
- Tuna, A. (2021). İngiltere’de Yeşil Altyapı Kavramının Uygulama Örnekleri Üzerinden İrdelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, Sayı 21, S. 416-423. DOI: 10.31590/ejosat.814954
- Türkiye İstatistik Kurumu (2021). Nüfus ve Demografi. Erişim Tarihi: 09.03.2021. <https://cip.tuik.gov.tr/#>
- TSI Incorporated, (2021). EVM Environmental Monitors. <https://tsi.com/products/indoor-air-quality-meters-instruments/evm-environmental-monitors/#resources>. (A.D: 08.03.2021)
- Viecco, M., Vera, S., Jorquera, H., Bustamante, W., Gironás, J., Dobbs, C., & Leiva, E. (2018). Potential of particle matter dry deposition on green roofs and living walls vegetation for mitigating urban atmospheric pollution in semiarid climates. *Sustainability*, 10(7), 2431.



# Pandeminin Kamusal Mekan Kullanımlarına Etkisi ve Güncel Mekansal Oluşumlar

Gizem Güvlü<sup>1\*</sup>, Halime Nur Yılmaz<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Fakültesi, 100/2000 YÖK Doktora Bursiyeri, Isparta / Türkiye, ORCID ID: 0000-0002-2882-1818, [d1940147025@ogr.sdu.edu.tr](mailto:d1940147025@ogr.sdu.edu.tr)

<sup>2</sup>Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Fakültesi, Isparta / Türkiye, ORCID ID: 0000-0002-8404-9957, [y11930129014@ogr.sdu.edu.tr](mailto:y11930129014@ogr.sdu.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 7 Haziran 2021 ve Kabul Tarihi 15 Ağustos 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.949168)

**ATIF/REFERENCE:** Güvlü, G. & Yılmaz, H. N. (2021). Pandeminin Kamusal Mekan Kullanımlarına Etkisi ve Güncel Mekansal Oluşumlar. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (27), 135-144.

## Öz

Günümüze kadar 121.382.067'den fazla kişinin hastalandığı 2.683.209'dan fazla kişinin ise yaşamını kaybettiği Covid-19 salgını mekânların geçmişteki haliyle kullanılmasını zorlaştırmış, farklı ihtiyaçların ve kullanım alışkanlıklarının ortaya çıkmasını ve mekânsal düzenlemelerde birtakım değişiklikler yapılmasını gerekli kılmıştır. Bu değişimin doğru şekilde gerçekleştirilmesi için ise farklılaşan mekânsal düzenlemelerin ayrıntılı şekilde ele alınması gereklidir. Araştırmada mekân kullanımlarındaki değişikliklere ve pandemi sürecine uygun olarak geliştirilen tasarım önerilerine değinilmiş, kamusal kullanıma açık alanlardaki mekânsal farklılaşmalar gösterilmiştir. Çalışmada pandemi sürecini yaşayan bireylerin mekânsal kullanımlarının, salgının bitişi ile anlamlı bir ilişkisinin bulunup bulunmadığı ve mekân kullanım şekillerinin bir davranış kalıbına dönüşüp dönüşmediğini anlamak için iki farklı senaryo ile yerel halktan oluşan bireylere sorular sorulmuştur. 166 kişiye uygulanan anket çalışması ile değişen mekân kullanımları belirlenerek yerel halkın mekânsal ihtiyaçlarının ne kadar değiştiği ve şu an var olan kullanım şeklinin hangi durumlarda devam ettirileceğinin sorgulaması gerçekleştirilmiştir. Araştırma sonucunda yapılan anket çalışmasından elde edilen verilerin değerlendirmesi yapılmış, kamusal mekan kullanımlarındaki değişimin pandemi sonrası süreçte de kalıcılığının devam edeceği yargısına ulaşılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Kamusal Mekan, Mekansal Değişim, Fiziksel Mesafe, Pandemi

## The Impact of the Pandemic on Public Space Uses and Current Spatial Formations

### Abstract

The Covid-19 epidemic, in which more than 121,382,067 people became ill and more than 2,683,209 people lost their lives to date, has made it difficult to use the spaces as they were in the past, necessitating the emergence of different needs and usage habits and some changes in spatial arrangements. In order for this change to be realized correctly, it is necessary to deal with the differing spatial arrangements in detail. In the research, the changes in the use of space and the design proposals developed in accordance with the pandemic process were mentioned, and the spatial differentiations in the areas open to public use were shown. In the study, questions were asked to individuals consisting of local people in two different scenarios in order to understand whether the spatial use of individuals experiencing the pandemic process has a meaningful relationship with the end of the epidemic and whether the use of space has turned into a behavioral pattern. With the questionnaire study applied to 166 people, the changing use of space was determined and the question of how much the spatial needs of the local people have changed and in which situations the current use will be continued. As a result of the research, the data obtained from the survey study was evaluated, and it was concluded that the change in the use of public spaces will continue to be permanent in the post-pandemic period.

**Keywords:** Public Space, Spatial Change, Physical Distance, Pandemic

\* Sorumlu Yazar: [d1940147025@ogr.sdu.edu.tr](mailto:d1940147025@ogr.sdu.edu.tr)

## 1. Giriş

Çin'in Wuhan kentinde 2019'un son aylarında ortaya çıkan Covid-19 salgını hızlı bir şekilde yayılarak küresel bir salgın halini almış ve pandemi krizine yakalanan dünya, salgınla mücadelede çözüm arayışlarına girmiştir. Sürecin hızla ilerlemesinde bireylerin paylaşım içerisinde olması ve geçmişte yaşanan salgınlardan farklı olarak pandemiye yakalananların çoğunun teşhis edilmeden topluma karışabiliyor olması virüsün yayılımını hızlandırmıştır. Tarihsel süreçte yaşanan salgınlardan edinilen tecrübeler pandemi ile mücadelede sadece tıbbi çözüm arayışlarının yeterli olmayacağını, birtakım kamusal değişikliklerin de gerekli olduğunu göstermiştir. Yapılaşmış çevreyi yeniden şekillendiren salgının etkisinin ve yayılımının azaltılmasında mimarlık ve mühendislik gibi disiplinlerin kritik bir öneme sahip olduğunun farkına varılmıştır. (Tekeli İ, 2000) Sosyal ve mekansal etkileri beraberinde getiren pandemi hepimizin hayatını etkilemiş, bu zamana dek pek de aşına olmadığımız birçok kavramı (sosyal mesafe, karantina vb.) gündelik yaşantımızın tam merkezine yerleşmiştir. İhtiyaç duyulan yeni bir fiziksel biçimlenme mimaride de bazı değişikliklere yol açmıştır. Yaşanılan salgın dolayısıyla değişen davranış kalıpları var olan kurulu düzenin uygulanabilirliğinin sorgulanmasına sebep olurken, yaşantılarımızın kapsayıcısı olan mekanların yeniden düzenlenmesini gerektirmektedir.

Bu anlamda tarihsel süreçte yaşanan salgın hastalıkların farklı mekansal oluşumlara yol açtığı göz önünde bulundurulduğunda yaşadığımız dönemde görülen pandeminin de mekansal birtakım etkilerinin olmaması olanaksızdır. Bu nedenle çalışmada yola çıkılan hipotez; pandeminin kamusal mekanlara getirdiği değişimin pandemi sonrası süreçte de kalıcılığının devam edeceği üzerine kurulmuştur. Araştırma boyunca mekânın algılanabilen varoluşsal hali ile anlamsal açıdan yeniden tanımlanmasına, pandeminin mekan kavramına getirdiği oluşumların neler olduğuna ve bu mekansal değişimin hangi düzeyde kalıcı olacağı ve sosyal hayatın bir parçası haline gelen 'fiziksel mesafe, sosyal izolasyon' gibi kavramların pandemi sonrası dönemde de süreklilik kazanıp kazanmayacağı sorularının anket yöntemi kullanılarak yanıt aranmıştır.

Çalışmada pandemi öncesi ve pandemi sonrası mekân kullanımları belirlenen başlıklar altında incelenmiştir. Bu inceleme sırasında öncelikli olarak literatür taraması yapıp pandemi süreci, mekân kavramı ve algısına değinilerek kuramsal çerçeve oluşturulmuş daha sonra yöntem iki aşamalı olarak yürütülmüştür. Birinci aşamada değişen mekan alışkanlıkları araştırılmış ve şekilsel olarak ifade edilmiştir. İkinci aşamada ise değişen alışkanlıklarla ilişkili olarak anket çalışması ile yerel halktan seçilen kullanıcıların görüşleri belirlenmiştir. Anket sonuçları SPSS programında gerekli analizlerden geçirilerek değerlendirilmiştir.

### 1.1.Mekan Kavramı

Pandemi hiç şüphesiz en çok yaşadığımız mekanları etkilemiş, yaşantılarımızı devam ettirebilmek için ise bizleri öncelikli olarak bu mekanları düzenlemeye itmiştir. Kavramsal açıdan mekan kavramı için literatürde birçok tanımlama bulunmaktadır. Asar (2013)'ın da belirttiği gibi mekan mimari bir

yapının en önemli kurucu öğelerinden biridir. Kavramsal olarak ele alındığında akla ilk gelen şekilde gerçekte, içinde yaşayarak hareket ettiğimiz bazı yapısal elemanlarla çevrelenen bir boşluktur. Ancak mekan sabit, rijit ve tek bir tanımlamaya sığabilecek maddeden bağımsız bir kavram değildir. Aksine dinamik, devingen ve birçok tanımlamaya açık göreceli bir kavramdır. Birden çok nesnenin arasındaki ilişki ve algılanabilir olması bir yerin mekân olarak tanımlanabilmesi için yeterli görülmektedir. (Asar, 2013) Yaşanılan süreçte değişen yaşam şartlarına adapte olabilmek için eskisinden daha iyi düzenlenmiş mekanlara ihtiyaç duyulurken, fenomenolojik açıdan mekân, yaşamın temel ögesi olarak görülmüş ve bu yüzden bir nicelik olarak değerlendirilmiştir. Mekân kavramı, insan eylem ve etkinlikleri için gerekli bir donanım ve bir hammaddedir. Her varlık da var olarak bu hammaddeyi kullanır, işgal eder ve onu tüketir. Bu düşünceden yola çıkarak Bilgin (1990) ve Solak (2017) mekânı varoluşun ve eylemin hammaddesi olarak kabul etmektedirler. (Bilgin, 1990; Solak, 2017)

Varlığın var oluşunun göstergesi olan mekanlardan insan için üretilenlerin belirli şartları taşıması gerekmektedir. Birçok açıdan yönetmelik ve şartnamelerle kurallara tabi tutulan mekansal gereklilikler matematiksel birtakım öğelere dönüşür. Nicel olarak ifade edilen mekansal düzenleme girdileri uygulamada yaşantılara, kültürel etkilere ve algısal boyutlara bağlı olarak farklılık gösterebilmektedir. Bahsedilen açıdan mekan insan yaşantısını her yönüyle sararak zaman kavramı ile birlikte sürekli şekillenmektedir. Yaşanılan dönemin getirdiği olanaklarla gelişim gösteren ve gün geçtikçe hızla tüketilen mekan, sahip olduğu kullanım yoğunluğu ile doğru orantılı olarak değişim gösterir.

Geçmişten günümüze mekansal tüketimin belirgin bir şekilde okunduğu kamusal mekanlar, insanların sürekli etkileşim halinde olduğu ve yaşanan bu etkileşimle birlikte değişimin en net gözlemlendiği alanlardır. Çalışma dahilinde incelenecek olan kamusal alanlar, orada yaşayan kentlilerin tümünün erişim sağladığı, herkesin kullanımına açık olan ortak bir sosyal hayatın oluşumuna zemin hazırlayarak bir kenti kent yapan ve yaşatan en önemli kentsel mekanlar olarak tanımlanmaktadır. (Erdönmez & Çelik, 2016)Tüm bu mekansal tanımlamaların hepsi de mekânın yaşantıya yani algılamaya bağlı olarak değişkenlik gösterebildiğini ortaya koymaktadır.

### 1.2.Mekanda Algı

Mekân, sayısız farklı biçimde algılanabilmektedir. Bu algılamada kişi deneyim ve becerileri yoluyla gözlem yapma, algılama, ayrıntıyı fark etme ve hayal gücünü kullanma gibi niteliklerden faydalanır. Kişide oluşan mekansal algı bahsedilen nitelikler ile bilişsel olarak bir değerlendirmeden geçirildikten sonra anlamlandırılmaktadır. Bu nedenle mekân tek başına bir anlam ifade etmemektedir ve kullanıcı ile etkileşimi sonucunda mekân algısı oluşmaktadır. Bulunulan mekân ve çevre ile bağlantılı olarak etkileşim; sosyo-kültürel fiziksel ve algısal değişkenlere göre çeşitlenebilmektedir. Oluşan algıyla birlikte kullanıcılar mekânın biçimlenişine göre hareket etmekte, mekânın biçimleniş de kullanıcıların geri dönüşlerine göre yeniden şekillenebilmektedir. (Asar, 2013)

Lefebvre (1991)'nin üçlü diyalektiğine göre ise mekân toplumsal olarak üretilir. Yaşanan, algılanan ve tasarlanan mekân, mekân üretiminde birbirinden ayrılmaz üç kurucu parçadır. Ancak bilimsel pratikler içinde "mekân"ın algılanan, tasarlanan ve yaşanan boyutları birbirlerinden ayrılmıştır—bunlar sırasıyla, fiziksel, zihinsel(algısal) ve toplumsal mekânlara karşılık gelmektedir. (Avar, 2009; Lefebvre, 1991) Mekân kavramını

bütün duyu organlarımızla algılayarak oluşumları belleğimizde mevcut olan durumlarla karşılaştırırız. (Altan, 1993) Bu karşılaştırmalarda kişilerin kültür ve deneyimlerini de içeren psiko-sosyal durumu, mekân içinde geçirilen zaman, mekânın ışık, ısı, konum vb. gibi fiziksel faktörleri mekânın algılanmasını doğrudan etkilemektedir. Algısal açıdan bu çeşitlenmeyle birlikte mekân, öznesi olan insanla var olarak ve onunla anımlanmaya devam eder. İnsan ile iletişime geçtiği her an yeniden üretilir. Bu devingen süreçte mekânsal algı; kişiden kişiye değişen farklı duyguları, istekleri, tercih ve mekanı yeterli bulup bulmadıklarını anlatan bir yansımadır. (Duman, 2018)

Bahsedilenler göz önüne alındığında mekânın algılanması, hem duyumsal hem de zihinsel bir süreç sonrasında gerçekleştiği görülmektedir. (Solak, 2017) Bütün bu etkiler günümüzde düşünüldüğü zaman psiko-sosyal durumun mekân algısında yükselen bir değere sahip olabileceği, yaşanan süreç dolayısıyla mekân algısının değişebileceği göz önünde bulundurulmalıdır.

## 2. Materyal ve Metot

Çalışmada materyal olarak yerel halktan oluşan ve farklı yaş gruplarında dağılım gösteren anketörlerden alınan cevaplar ile pandemi sürecinde kamusal mekanlarda meydana gelen mekânsal değişiklikler ele alınmıştır. Araştırmada pandemi sürecini yaşayan bireylerin mekânsal kullanımlarının ve kazandıkları yeni davranış kalıplarının kalıcılığını sorgulayabilmek için anket yönteminden yararlanılmış; iki farklı senaryo oluşturularak yerel halktan oluşan 166 bireye sorular yöneltilmiştir.

Etik kurul izni ile 2021 Mart ve Nisan aylarında yapılmış olan anket çalışmasına katılımlar çevrimiçi olarak gerçekleştirilmiştir. Katılımcılar arasından 92 tanesi 15-24, 57 tanesi 24-44, 16 tanesi 45-65 ve 1 tanesi 65 yaş ve üzeri grupta yer almaktadır. Eğitim seviyeleri ve iş durumları bakımından ise 67 kişinin öğrenci, 32 kişinin çalışmıyor ve 69 kişinin ise aktif olarak çalışıyor olduğu görülmüştür.

<b>SENARYO 1</b>	Pandeminin küresel ölçekte önüne geçildiği ve belirli bir süredir dünyada tek bir kişide bile vakaya rastlanılmadığının bilindiği bir dünya
<b>SENARYO 2</b>	Pandeminin önüne geçilemediği, tüm dünyaya hızla yayılmaya devam ettiği ve bundan sonraki yaşam sürecinde asla bitmeyecek salgın hastalıklar silsilesinin içerisinde bulunduğu bir dünya

Çizelge 1. Ankette katılımcılara sunulan iki farklı senaryo

2 farklı senaryoya tabloda yer verilen açıklamalar göz önünde bulundurularak katılımcıların soruları cevaplandırılmaları istenmiştir. Bu sorular ile aranan cevap, pandemi sonrası süreçte hastalık tamamen sonra erse bile değişen davranış kalıplarının kalıcılığının ne derece devamlı olacağına ölçülmesi ya da tam tersine sürekli yeniden karşımıza çıkabilecek salgın hastalıklar silsilesi içerisinde kural tanımayan bir topluluk ile mi karşılaşacağı sorusuna yanıt aranmıştır.

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

### 3.1. Kamusal Mekan Kullanımlarındaki Değişimler

#### Yeme/ İçme Mekanları

Pandemiyle birlikte hayatımızda önemli bir yer edinen fiziksel mesafe kavramı; restoran, lokanta gibi gıda sektöründe hizmet veren mekanlarda da önemli bir faktör haline gelmiştir.

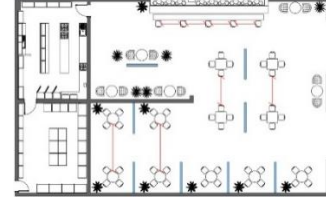
(Şekil 1) Virüs iletimini engelleyen en etkili öge olan maskeden bu mekanlarda yararlanamadığımız için bulaş riskini en aza indirmek ancak sosyal mesafe kurallarına uymak ile mümkün görülmüştür ve bu yüzden yeme/içme mekanlarında kullanıcılar arasında yeterli mekânsal mesafe bırakılmaya çalışılmıştır. (Şekil 2) Bu anlamda oluşan mekânsal değişim sadece pandemi sürecinde değil, pandemi sonrası dönemde de mekanların tahmin edemediğimiz durumlarla karşılaşabileceğimiz öngörüsünü ortaya çıkarmıştır. Pandemi sonrası dönemde yeni tasarlanacak restoran/ kafe tarzı mekanlar için gel al servisin ilerleyen süreçte daha fazla rağbet görebileceğini düşünerek mekanların dışarıyla olan bağlantısı artırılıp müşterilerin mekanın içerisine dahil olmadan siparişlerini alabilecekleri bekleme alanları oluşturulmalı, kullanıcılarının birbirlerinden izole bir şekilde mekânı deneyimleyebileceği ayrı oturma alanları düzenlenerek olası bulaş riskini en aza indirecek uygun mekânsal çözümler getirilmelidir. (fiziksel ölçüler, m<sup>2</sup>'ye düşen insan sayısı gibi) (Şekil 3)



Şekil 1. Pandemi öncesi restoran mekan kullanımı (url-1)



Şekil 2. Pandemi sürecinde restoran mekan kullanımının değişimi(url-2)



Şekil 3. Pandemi sürecinde restoran yerleşim planı incelemesi

### Spor Yapıları

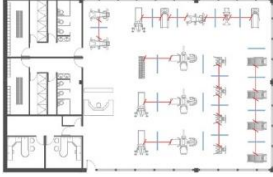
Pandemi öncesinde belli bir kullanıcı potansiyeline sahip olan spor yapıları pandemiyle birlikte sosyal mesafe ve hijyen standartlarını yeteri kadar sağlayamayacağı (Şekil 4) endişesiyle öncelikli olarak kapatılmış sonrasında spor salonu gibi özel teşebbüse ait az sayıda kişinin toplanmasına sebep olan mekanlar ise çeşitli kısıtlamalar dahilinde düzenlenerek kullanıma açılmıştır. (Şekil 5) Fazla sayıda kişinin bir araya gelmesine sebep olan müsabakaların yapıldığı stadyum benzeri yapılara ise halen seyirci alınmaması bu yapıların fiziksel mesafe kuralları kapsamında tekrardan düzenlenmesinin gerekliliğini göstermektedir. Kapalı spor salonlarında her bir spor aletinin diğeri ile olan mesafesine özen gösterilmeli, bölücü elamanlardan destek alınmalı ve ıslak hacim kullanımlarında özenli bir sterilizasyon sağlanmalıdır. (Şekil 6) Sonraki süreç içerisinde yaşanabilecek olası durumlar göz önüne alınarak tasarımların geliştirilmesi gerekmektedir.



Şekil 4. Pandemi öncesinde spor salonu mekan kullanımı(url-3)



Şekil 5. Pandemi sürecinde spor salonu mekan kullanımının değişimi(url-4)



Şekil 6. Pandemi süreci ve sonrası için spor salonu yerleşim planı incelemesi

### Açık (Yeşil) Alanlar

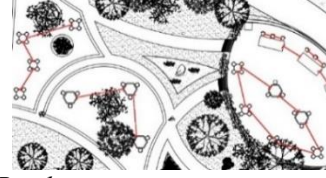
Pandemi ile birlikte hayatımıza giren mesafe kuralları kamusal alanlarda metrekareye düşen maksimum kullanıcı sayısı gibi ölçütleri daha anlamlı kılmıştır. Açık bir mekân olsa da bazı kamusal alanlar yoğun kullanımları dolayısıyla sıkışık düzende biraya gelmesine sebep olan alanlardandır. (Şekil 7) Yaşadığımız süreç içerisinde oluşması muhtemel yoğunluğun önüne geçebilmek amacıyla yerel yönetimler öncelikli açık kamusal alanların kullanımını yasaklamış, ilerleyen zamanlarda da farklı düzenlemelere gidilerek mekanlara farklı kısıtlamalar getirilmiştir. Kentsel donatıların bir araya gelişi ve hatta tasarımları bile bu süreçten etkilenmiş, kısıtlamaların azalması ile birlikte açık ve yeşil alanlarda sosyal mesafe kurallarına uygun bir organizasyon oluşturulmaya çalışılmıştır. (Şekil 8, 9) Pandemi sonrası dönemde de kentsel ve kamuya açık mekanlarda görülmesi muhtemel olan bu fiziksel biçimleniş, kalıcı bir davranış kalıbına dönüşme potansiyeli taşımaktadır. Gelecekte yapılacak olan planlamaların bu kriterleri dikkate alarak tasarlanması gerekli görülmektedir.



Şekil 7. Pandemi öncesi açık/yeşil alan kullanımı(url-5)



Şekil 8. Pandemi sürecinde yeşil alan mekan kullanımının değişimi(url-6)



Şekil 9. Pandemi süreci ve sonrası için yeşil alan yerleşim planı incelemesi

### Dini Yapılar

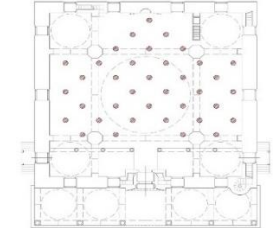
Her toplumun sahip olduğu dini inanışların farklı olması nedeniyle farklı mekân kullanımlarının söz konusu olduğu dini yapılarda genel olarak toplu olarak ibadete olanak verecek mekânsal düzenlemeler mevcuttaki hallerine bağlı kalarak devam etmektedir. (Şekil 10) Pandemi sürecinde bir süre kısıtlamaya gidilmesine karşın sonraki zamanlarda ibadet için belli sayıda kişinin o alanda bulunmasına izin verilerek mekanlar tekrar kullanıma açılmıştır. Halen devam eden uygulamalarda bu mekanlarda sosyal mesafe kuralları dahilinde uyarıcı yer işaretleri ile kullanıcıların fiziksel mesafelerinin, giriş ve çıkışlara kurulan dezenfeksiyon alanları ile temas edilen yüzeylerin sterilitesinin korunması amaçlanmaktadır. (Şekil 11, 12) Pandemi sürecinde uygulanan mekânsal düzenlemeler pandemi sonrası süreç için de uygulanmaya devam edilebilir ve yeni oluşturulacak tasarımlara bahsedilen mekânsal organizasyonlar entegre edilebilir.



Şekil 10. Pandemi öncesi dini yapı mekan kullanımı(url-7)



Şekil 11. Pandemi sürecinde dini yapı mekan kullanımının değişimi(url-8)



Şekil 12. Pandemi süreci ve sonrası için dini yapı yerleşim planı incelemesi

### Ofis/ Çalışma Alanları

Özellikle pandemi öncesi dönemde günümüzün büyük bir kısmını geçirdiğimiz ofis mekanları, yoğun kullanıcı potansiyeline sahip olduğu için süreç içerisinde mekânsal dönüşümün neredeyse zorunlu hale geldiği mekanlar arasında yer almıştır. (Şekil 13) Yaşanan süreç içerisinde birçok kurum ve kuruluş farklı çözüm yolları aramış; bir kısmı yoğunluğu azaltmak adına kademeli çalışma planına geçerken, bir kısmı da evden çalışma planına geçmiştir. Bahsedilen durumların haricinde evden çalışmanın yürütülemediği durumlarda mecburi hale gelen

ortak alan kullanımlarını sınırlandırmak için ise bölücü elemanlar, farklı mekân sınırlayıcıları ve renkli uyarıcı ekipmanlarla mekânın kullanıcıları arasında gerekli fiziksel mesafenin bırakılması sağlanmaya çalışılmıştır. (Şekil 14)

Bahsedilen kapsam içerisinde çalışma masalarının birbirine olan uzaklığı ve bölücü elemanların kullanımı gibi pandemi öncesi süreçte çok dikkate alınmayan bazı ölçütler şimdilerde salgını kontrol altına alabilmek için uygulanan tedbirler arasındadır. Uygulamaya konulan tedbirlerle birlikte esnek mekân anlayışıyla planlanan mekanların sahip olduğu fonksiyonellik, pandemi sonrası süreçte de göz önünde bulundurulması gereken bir olguyu ortaya çıkarmıştır.

Pandemi sonrası için kamusal kullanıma açık olan, çok sayıda kişinin uzun süreli olarak mekân içerisinde vakit geçirmesinin gerektiren ofis benzeri yapılarda hem çalışanların hem de ziyaretçilerin sağlığı açısından öncelikli olarak giriş çıkış alanları için mümkünse ayrı kapılar sağlanmalı olacak yoğunluk azaltılmalıdır. Ana sirkülasyon alanlarda yeterli genişlikte akslar bırakılarak mekân içerisinde dolaşım daha sağlıklı hale getirilmelidir. Kısa süreli kullanımda mekânın kullanıcılarının dolaşmadan işlerini halledebilmeleri için gerekli düzenleme ve sosyal mesafe kuralına uygun olarak bekleme alanlarında yeterli oturma alanları sağlanmalıdır. Çalışanların gün içerisindeki temasını en aza indirmek için yan yana masa düzeni yerine bölücü panellerle her çalışana ayrı bir kullanım alanı sağlanmalıdır. Yaşanılan pandemi süreciyle birlikte önemi herkes tarafından daha iyi anlaşılan doğal havalandırmanın mekân içerisinde sirkülasyonunun sağlanması için bölücü duvarlar havalandırmayı sekteye uğratmayacak şekilde konumlandırılmalıdır. (Şekil 15)

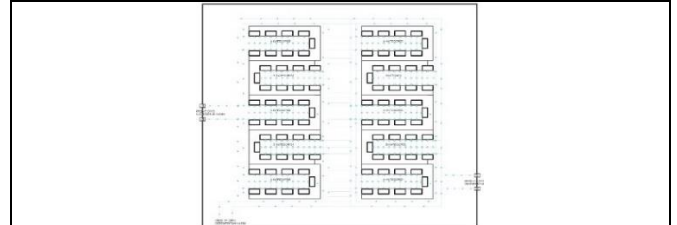
Temel ihtiyaçlarımızı karşılayabilmek adına kullanmak durumunda kaldığımız mekanlardan biri olan semt pazarları, pandemi ile birlikte değişime uğrayan mekanlar arasında yer almıştır. (Şekil 16) Salgının başlamasıyla birlikte kullanıcıların bireysel ve sosyal izolasyonunun sağlanması amacıyla semt pazarlarında çeşitli önlemler alınmış ve uygulamaya konulmuştur. (Şekil 17) Pandemi sonrası süreç için de halen yoğun bir kullanıcı potansiyeline sahip olması beklenen pazar yerlerinde, tezgahlar arası mesafenin belli aralıklarda tutulmasını sağlamak için mekânsal sınırlayıcı elemanlarla düzenlemeye gidilerek satıcılar ve müşteriler arasındaki temas azaltılmaya çalışılmaktadır. Mekânın kullanıcılarının pazar yeri içerisindeki temasını azaltmak içinse satılan mallar kategorilere ayrılıp farklı alanlarda gruplandırılarak kullanıcıların alan içerisindeki sirkülasyonu azaltılmaya çalışılmalıdır. (Şekil 18) Salgın süreci ve sonrasında oluşabilecek yeni risklere karşı bu mekanların dinamik sirkülasyonunun kontrol altına alınması başlıca tasarım kriterlerinden birini oluşturmalıdır.



Şekil 16. Pandemi öncesi pazar alanı kullanımı(url-11)



Şekil 17. Pandemi sürecinde pazar alanı mekan kullanımının değişimi(url-12)



Şekil 18. Pandemi süreci ve sonrası için pazar alanı yerleşim planı incelemesi

## Eğitim- Öğretim Yapıları

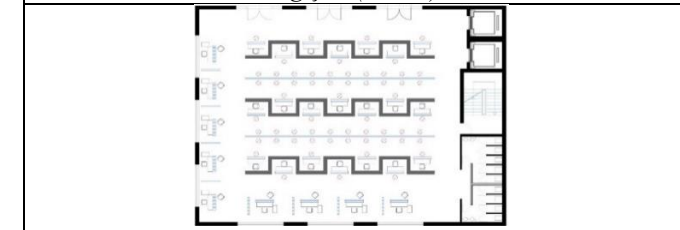
Küresel çapta birçok kişinin etkilenmesine sebep olan salgın sebebiyle aksayan eğitim-öğretimin devamlılığını sağlayabilmek için bireylerin birbiriyle temasını en aza indirgeyecek mekân tasarımlarının oluşturulması gerekmiştir. (Şekil 19) Bunun için sınıf mevcutlarında azaltmaya gidilmesi, sınıf içerisinde teması en aza indirmek için sıraların çapraz oturma düzeninde kullanılması, ders dışında öğrencilerin temasını azaltmak amacıyla teneffüse sınıfların sırayla çıkarılması gibi uygulamalara gidilmiştir. (Şekil 20) Salgının başında öncelikli olarak eğitim-öğretime ara verilmesi sonrasında aralıklarla tekrardan eğitimin devam etmesine uğraşılması fakat salgının kontrol altına alınamaması ve olası riskler sebebiyle tekrar sürecin sonlandırılması eğitim-öğretim yapılarında ciddi bir dönüşümün gerektiğini göstermektedir. Bu nedenle çok sayıda kişinin birbirleriyle etkileşim içinde olduğu eğitim- öğretim yapılarında özellikle sınıf içinde öğrenciler arası gerekli sosyal mesafe bırakılmalı, sınıf



Şekil 13. Pandemi öncesi ofis çalışma alanı mekan kullanımı(url-9)



Şekil 14. Pandemi sürecinde ofis yapısı mekan kullanımının değişimi(url-10)



Şekil 15. Pandemi süreci ve sonrası için ofis yerleşim planı incelemesi

## Pazar Alanları

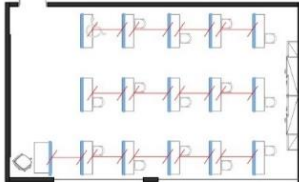
içinde ve dışında belirli aralıklarla hijyen noktaları bulunmalıdır. Mekanların fiziksel konforunu arttırabilmek için doğal havalandırmaya olanak veren tasarımlar geliştirilerek yapı içerisindeki iklimlendirmenin uygun koşullarda kalması sağlanmalıdır. (Şekil 21) Aynı zamanda yapı içerisinde ve dışında öğrencilerin sosyalleşebilmesine olanak sağlayan mekanlar oluşturularak sosyal sürdürülebilirliğin devamlılığı sağlanabilmelidir.



Şekil 19. Pandemi öncesi eğitim yapısı mekan kullanımı(url-13)



Şekil 20. Pandemi sürecinde eğitim yapısı mekan kullanımının değişimi(url-14)



Şekil 21. Pandemi süreci ve sonrası için eğitim yapısı yerleşim planı incelemesi

## Resmi Yapılar

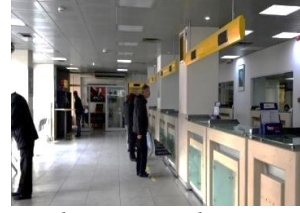
Sürece uyum sağlayabilmesi için değişim ve iyileştirmeye uğraması gereken yerlerden biri de resmî kurumların kullanımındaki mekanlar olmuştur. Bu mekanlar içerisinde yoğun kullanım alanlarının başında yer alan resmî kurum, hastane, banka gibi mekanlar bulunmaktadır. Salgının hem maddi hem de manevi açıdan sebep olduğu olumsuzlukları en aza indirmek için bu mekanların salgın sonrası kullanıma uygun olarak düzenlenmesi gerekmektedir. (Şekil 22) Pandeminin başlamasıyla birlikte birbirinden bağımsız birçok kişinin kullanımına açık olan bu mekanlarda öncelikli olarak mekân içi kişi sınırlamaları getirilmiş, belli bir sayının üzerine geçilmemesine çalışılmıştır. (Şekil 23) Giriş ve çıkışlara dezenfeksiyon standartları kurularak kişilerin olası tehlikelerden ve uyarıcı işaretleriyle mekân içerisindeki sirkülasyon mekanlarında yakın temastan korunması amaçlanmıştır. Pandemi öncesinde mekân içerisinde kullanılan donatılar sosyal mesafe kurallarının uygulanmasını zorlaştırması sebebiyle süreç içerisinde ya tamamen kaldırılmış ya da bölücü sınırlayıcı elemanlar ile belli standartlara getirilmeye çalışılmıştır. Alınmaya çalışılan önlemlerin tümü mekanların esnek kullanıma olanak verecek şekilde düzenlenmesi gerektiğini göstermiştir.

Bu amaçla bahsedilen mekanların bekleme alanlarında yoğun insan temasının önüne geçebilmek için öncelikli olarak mekân kullanımını kısıtlayan mobilyalar azaltılarak temiz alanlar bırakılmaya çalışılmalı, oturma yerleri arasında bölücü elemanlar kullanılarak gerekli sosyal mesafenin korunması sağlanmalıdır.

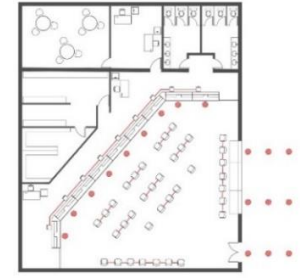
Uyarıcı yer işaretleriyle fiziksel mesafenin iç mekandaki sirkülasyon alanlarında da korunmasına özen gösterilmelidir. Ayrıca mekanların doğal havalandırmasının sağlanması açısından, pandemi öncesinde doğal havalandırma yerine çoğunlukla tercih edilen, yapay havalandırma en aza indirilmeye çalışılarak mekanların dışarıyla olan bağlantısı güçlendirilmeye çalışılabilir. (Şekil 24)



Şekil 22. Pandemi öncesi resmi yapı mekân kullanımı(url-15)



Şekil 23. Pandemi sürecinde resmi yapı mekân kullanımının değişimi(url-16)



Şekil 24. Pandemi süreci ve sonrası için resmi yapı yerleşim planı incelemesi

## Sosyo-Kültürel Yapılar

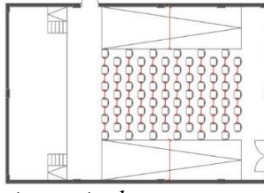
Tüm dünyayı her yönden etkisi altına alan salgın sebebiyle çoğu ülkede olduğu gibi ülkemizde de sanatsal ve kültürel aktiviteler askıya alınmış, salgının kontrol altına alınabilmesi ve yeni gelişen duruma karşın kullanıma açık olan mekanların standartlarının geliştirilmesi için çalışmalar yürütülmüştür. Pandemi öncesi dönemde sosyo-kültürel birçok etkinliğe ev sahipliği yapan konser ve konferans salonları yeterli şartları sağlayamadığı için (Şekil 25) pandemi sürecinde mevcut mekanlarda yapılacak etkinlikler salon kapasitesinin yarısı kullanılarak düzenlenmiştir. (Şekil 26) Pandemi sonrası süreç için bu mekanların salon kapasite ve büyüklükleri tekrar göz önüne alınarak kamusal kullanıma açık olan sinema gibi çok sayıda insanın bir araya gelmesine neden olan etkinlikler sırasında oluşabilecek olumsuzlukların önüne geçebilmek için kapalı ortamlarda bir kişinin kaplayacağı m2 yeniden düşünülmesi koltuklar arası mesafe ve salon büyüklüklerinde gidilecek düzenlemeler ile mekânların kullanılabilirliği sağlanmalıdır. (Şekil 27)



Şekil 25. Pandemi öncesi sinema salonu mekan kullanımı(url-17)



Şekil 26. Pandemi süreci kültürel mekan kullanımının değişimi(url-18)



Şekil 27. Pandemi sürecinde ve sonrasında sosyo-kültürel yapı yerleşim planı incelemesi

### Toplu Ulaşımın Sağlandığı Alanlar

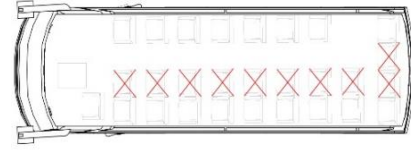
Birçok kişinin sirkülasyonun sağlandığı toplu ulaşım alanları tekrar düşünülmesi gereken mekanlar arasında en önemlilerindedir. Çünkü bu mekanlarda sosyal mesafe ve hijyen kurallarına uyulması mevcut kullanımları itibariyle olanaksız ve konforsuzdur. (Şekil 28) Yaşanılan bu süreçle birlikte birçok kişi pandemi öncesinde de düzeltilmesi gereken bu sorunun iyiden iyiye farkına varmış ve farklı kullanım modellerinin geliştirilmesinin önemi gözler önüne serilmiştir. Pandeminin başlamasıyla birlikte her gün yüzlerce kişinin kısa süreli kullanımına açık olan toplu ulaşım yerlerinin hem bekleme hem de ulaşım araçlarında uyarıcı işaretlerle kişilerin fiziksel mesafelerini korumaları için önlemler alamaya çalışılmış, her iki kullanım yeri içinde oturma yerlerinde sınırlandırmalara gidilmiştir. (Şekil 29) Başlarda özellikle şehir içi otobüs ve metro gibi çok sayıda kişinin günlük kullanımında olan toplu ulaşım mekanlarında belli bir sayının üstünde kişi araca alınmamış, iç mekânda dezenfeksiyon yerleri oluşturularak temas yerlerinin steril kalması sağlanmaya çalışılmıştır. Pandemi sonrası için bu mekanlarda ele alınan mekanlarda öncelikli olarak oturma alanlarının seyreltilerek yatayda ve düşeyde yeterli kişisel mekân tanımına uygun boşluğun bırakılması, 2'li ve 5'li koltukların azaltılması ve uzun süreli yolculuklar içinde izole bir yolculuk sağlanmaya çalışılması üzerinde durulmalıdır. (Şekil 30) Yaşanılan süreç öncesinde de kişisel mesafe sınırlarını hiçe sayan ulaşım araçları ve mekanlarının gerekli fiziksel mesafeyi sağlayacak şekilde getirilmesinin gerekli olduğu düşünülmektedir.



Şekil 28. Pandemi öncesi toplu ulaşım mekan kullanımı(url-19)



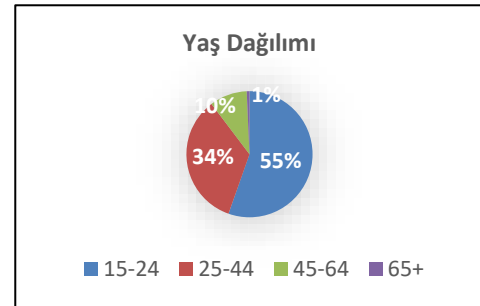
Şekil 29. Pandemi süreci toplu ulaşım mekan kullanımının değişimi(url-20)



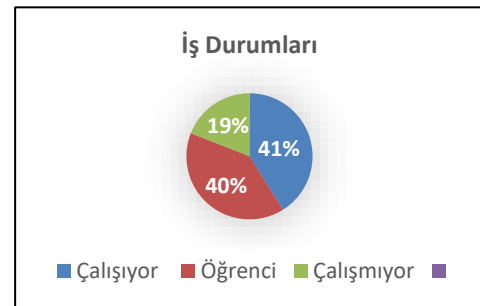
Şekil 30. Pandemi süreci toplu ulaşım yerleşim planı incelemesi

### 3.2. Anket Bulguları

Çalışma online olarak, etik kurul izni alınarak 2021 Mart-Nisan ayları içerisinde yürütülmüştür. Anket kapsamında katılımcılara birinci senaryoya 10, ikinci senaryoya da 10 olmak üzere toplamda 20 soru yöneltilerek cevaplandırılmaları istenmiştir. Anketörler yerel halkın her kesiminden seçilmiş olup, katılımcıların yaş grupları ve eğitim seviyeleri aşağıdaki tablolarda ifade edildiği gibi dağılım göstermektedir.



Çizelge 2. Yaş Dağılımı



Çizelge 3. İş Durumları

Çizelge 2'de görüldüğü üzere %43'ü erkek %57'si kadın olan katılımcıların %55,4'ü 15-24, %34,3'ü 24-44, %9,6'sı 45-64, %0,7'si 65 yaş ve üzeri gruptan oluşmaktadır. Aynı şekilde çizelge 3'ten elde edilen veriler ile katılımcıların %40,3'ünün öğrenci, %19,2'sinin çalışmıyor ve %41,5'inin ise aktif olarak çalışıyor olduğu görülmektedir.

İlgili bölümde pandeminin kamusal mekân kullanımına olan etkisini ortaya koyabilmek amacıyla düzenlenen anketin güvenilirliği test edilmiş, analiz sonucunda Cronbach's Alfa değerinin  $\alpha=0,703$  olarak oluştuğu görülmüştür. Cronbach Alpha değerinin 0,6'in üzerinde olması, anketin oldukça güvenilir



olduğunu göstermektedir. (Yıldız, D. Uzunsakal E, 2018) Çalışma için daha sonra örnekleme ait demografik özellikler belirlenmiş, anket sonucunda elde edilen veriler ile demografik özellikler arasındaki ilişkilerin sorgulandığı hipotez testi sonuçları iki farklı senaryo dahilinde ele alınmıştır.

Çalışmada ortaya çıkan veriler SPSS 20 programı kullanılarak analiz edilmiştir. Örneklemin salgının iki farklı olasılığına göre ortaya çıkan değerlerini çalışıp çalışmama durumu ve yaşa göre karşılaştırmak amacıyla Paired Sample T-test, ANOVA ve Kruskal-Wallis Analizi uygulanmıştır. Araştırma dahilinde pandeminin tamamen sona erdiği Senaryo 1 ve daha da kötü bir hal aldığı Senaryo 2 için sorulara verilmiş olan cevapların arasındaki ilişkiyi ortaya koyabilmek için Paired Sample T test uygulanmış elde edilen sayısal verilerden öncelikli olarak ‘‘ t, df ve Sig. değerleri ele alınmış, pandeminin bitmesi ya da devam etmesiyle mekan kullanımı arasındaki ilişki ortaya konulmaya çalışılmıştır. Belirlenen örneklem dahilinde Senaryo 1 ve Senaryo 2 için sorulara verilen cevaplar incelenen senaryo içerisinde ele alınarak, yaş ve çalışma durumlarına göre verilen cevap arasında anlamlı bir ilişki olup olmadığını öğrenmek amacıyla Anova Analizi (Varyans Analizi) yapılmış ve sig. değerine bakılmıştır. Her iki inceleme için anlamlı bir sonucun çıkmadığı durumlarda Kruskal-Wallis Testi uygulanarak verilen cevaplar ile sorulara cevap verenlerin yaş ve çalışma durumları arasındaki ilişki tekrar kontrol edilmiştir. Bu bağlamda aşağıda seçilen sorular üzerinden yapılan analiz sonuçlarına ve değerlendirmelerine yer verilmiştir.

Anket çalışmasında yer alan ‘Ofis arkadaşınızla aynı masayı kullanır mısınız?’ (1.soru) sorusuna verilen cevaplar ve SPSS Programı’nda yer alan Paired Samples Test (Bağımlı Örneklem T-Testi) sonucunda; sig. 0,22 değeri ile senaryo 1 ve senaryo 2 kategorisindeki yanıtlar arasında anlamlı bir fark bulunmuştur. Pandeminin sona erdiği ve uzun zamandır küresel ölçekte bir vakaya rastlanılmadığı bilinen senaryo 1 ile pandeminin sona ermediği ve artarak devam ettiği senaryo 2 durumu arasında bu sorudaki davranışların %27’lik bir fark ile arttığı görülmektedir. Yani birinci senaryoya %47,3 olan ‘hayır’ yanıtının ikinci senaryoya daha ciddi bir boyuta %74,3’e ulaştığı görülmektedir.

Anket çalışmasında yer alan ‘Bulunacağınız mekanda aradığınız kriterler arasında ‘kişisel izolasyon’, ‘sosyal mesafe’ gibi kavramlar bulunur mu?’ (10.soru) sorusuna verilen cevaplar ve uygulanan Paired Samples Test sonucunda; sig. 0,00 değeri ile senaryo 1 ve senaryo 2 kategorisindeki yanıtlar arasında anlamlı bir fark bulunmuştur. Senaryo 1 ile Senaryo 2 durumu arasında bu sorudaki davranışların %16,8’lik bir fark ile arttığı görülmektedir. Yani birinci senaryoya %72,3 ile ciddi bir düzeyde olan ‘evet’ yanıtının ikinci senaryoya %89,1 ile çok daha ciddi boyutlara ulaştığı görülmektedir. Bu anlamda her iki olasılığın sonucu olarak pandeminin mekanlar üzerinde bir değişiklik bırakacağı yargısına ulaşılmıştır ve anketörlerin gidecekleri mekanları, fiziksel mesafeye kurullarına uygun olup olmamasına göre tercih etmesini etkilediği yargısı çıkarılmıştır (Çizelge 4).

Çizelge 4. Paired Samples T-Test Sonuçları

	t	df	Sig. (2-tailed)
Pair 1 Senaryo1soru1-- Senaryo2soru1	-2,323	134	,022
Pair 2 Senaryo1soru10-- Senaryo2soru10	5,178	134	,000

Anket çalışmasında yer alan senaryo 2 kategorisinde ‘Pandemi öncesi dönemde (tercih ediyorsanız eğer) olduğu gibi semt pazarlarını tercih eder misiniz?’ (8.soru) sorusuna verilen cevaplar ve Anova Analizi sonucunda ulaşılan sig. 0,11 değeri ile iş durumu arasında anlamlı bir fark bulunmuştur. Öğrenci ve çalışan grubun bu soruya verdiği hayır çoğunluklu yanıtlar doğrultusunda çalışmayan kesimin pandeminin sona ermediği ve devam edeceği senaryo 2 durumunda bile semt pazarlarını tercih edeceği yargısına ulaşılmıştır. Bu anlamda semt pazarları gibi kalabalık mekanlarda sağlık önlemleri üzerinde daha çok durulmalıdır (Çizelge 5, Çizelge 6).

Çizelge 5. Senaryo 2 Soru 8-Anova Analizi Sonuçları

Senaryo2-Soru8	df	F	Sig.
Gruplar arası (ilişkisiz gruplar)	2	4,652	,011
Gruplar içi (ilişkili gruplar)	132		
Toplam	134		

Çizelge 6. Senaryo 2 Soru 8 Cevap Tablosu

İş Durumu	Evet	Hayır	Kararsızım
Çalışıyor	22	24	6
Öğrenci	12	27	12
Çalışmıyor	15	9	2

Anket çalışmasında yer alan senaryo 1 kategorisinde ‘Kalabalık organizasyonlara katılır mısınız?’ sorusuna verilen cevaplar ve SPSS Programı’nda yer alan Anova Analizi sonucunda; sig. 0,12 değeri ile iş durumu arasında anlamlı bir fark bulunmuştur. Pandeminin sona erdiği ve uzun zamandır küresel ölçekte bir vakaya rastlanılmadığı bilinen Senaryo 1’de öğrenci ve çalışan kitlenin, çalışmayan kitleye göre kalabalık organizasyonlara daha fazla katılacağı sonucuna ulaşılmıştır (Çizelge 7, Çizelge 8).

Çizelge 7. Senaryo 1 Soru 9-Anova Analizi Sonuçları

<b>Senaryo1-Soru9</b>	<b>df</b>	<b>F</b>	<b>Sig.</b>
Gruplar arası (ilişkisiz gruplar)	2	4,580	,012
Gruplar içi (ilişkili gruplar)	164		
	166		
Toplam			

Çizelge 8. Senaryo 1 Soru 9- Cevap Tablosu

<b>Yaş</b>	<b>Evet</b>	<b>Hayır</b>	<b>Kararsızım</b>
15-24 yaş	63	6	7
25-44	36	7	2
45-64	9	5	-

Anket çalışmasında yer alan senaryo 1 kategorisinde ‘Eğitim kurumlarında, restoranlarda masaların birbirine olan uzaklığına ya da sinema, tiyatro gibi kamusal kullanıma açık mekanlardaki koltukların birbirine olan mesafelerine dikkat eder misiniz?’ sorusuna verilen cevaplar ve SPSS Programı’nda yer alan Kruskal-Wallis Analizi sonucunda ulaşılan sig. 0,020 değerinden yaş grubunun kamusal kullanıma açık mekanlardaki koltukların birbirine olan mesafelerine dikkat etme durumunu değiştirdiği yargısına ulaşılmıştır. Belirli yaş grubundaki kişilerin kamusal kullanıma açık mekanlarda bulunan oturma düzeninde uyulması gereken fiziksel mesafeye özen gösterdiği, yaş arttıkça bu olguya olan dikkatin azaldığı anlaşılmaktadır (Çizelge 9, Çizelge 10)

Çizelge 9. Senaryo 1 Soru 5- Kruskal-Wallis Analizi Sonuçları

<b>Senaryo1-Soru5</b>	
df	2
Asymp. Sig.	,020

Çizelge 10. Senaryo 1 Soru 5- Cevap Tablosu

<b>Yaş</b>	<b>Evet</b>	<b>Hayır</b>	<b>Kararsızım</b>
15-24	72	13	8
25-44	48	9	-
45-64	11	6	-

Anket çalışmasında yer alan senaryo 2 kategorisinde ‘Pandemi süreci içerisinde alınan bazı mekânsal kısıtlamaların sonrası içinde uygulanmasının gerekli olduğunu düşür müsünüz?’ sorusuna verilen cevaplar ve SPSS Programı’nda yer alan Kruskal-Wallis Analizi sonucunda ulaşılan sig. 0,023 değeri ile yaş olgusu arasında anlamlı bir fark bulunmuştur. Pandeminin hiç

bitmeyeceğinin bilindiği bir senaryoda mekânsal kısıtlamaların uygulanmaya devam edilmesinin yaş arttıkça gereksiz olduğunun düşünüldüğü anlaşılmaktadır (Çizelge 11, Çizelge 12).

Çizelge 11. Senaryo 2 Soru 3- Kruskal-Wallis Analizi Sonuçları

<b>Senaryo2- Soru3</b>	
df	2
Asymp. Sig.	,023

Çizelge 12. Senaryo 2 Soru 3- Cevap Tablosu

<b>İş Durumu</b>	<b>Evet</b>	<b>Hayır</b>	<b>Kararsızım</b>
Çalışıyor	25	35	11
Öğrenci	23	32	17
Çalışmıyor	3	26	3

## 4. Sonuç

İçinde bulunduğumuz dünya, yaşadığımız çağ hızlı bir değişim geçirerek her yeni gün farklı bir ihtiyaç kalıbının ortaya çıkmasına sebep olmaktadır. Günümüzün en büyük ve birincil sorunu haline gelen pandemi de hiç durmadan yaşanan değişimin daha radikal bir şekilde gerçekleşmesine sebep olmuştur. Günlük rutinlerin, yeme içme alışkanlıklarının, sosyalleşmek için kullandığımız mekanların, eğitim ve iş hayatlarımızın kökünden değişmesine sebep olan bu farklılaşma, yirmi birinci yüzyılın insanlarını da ihtiyaçlarını karşılamak için dönüştürmeye, günümüze uyumlu hale getirmeye zorlamaktadır. Pandemi süreci içerisinde bu dönüşümden en çok etkilenen şeylerin başında hiç şüphesiz yaşamımızın temelini oluşturan mekanlar yer almaktadır. Mekansal kullanımlarımızı olabildiğine değiştiren bu süreç artık kişisel ve toplumsal olarak kalıcı birtakım değişikliklerin gerektiğini göstermiş hemen hemen tüm yapıları çevrede standartları değiştirmiştir.

Yapılan çalışma sonucu pandemi süreci içerisinde oluşan mekân değişimleri örnekler ile ortaya konularak kamusal mekanlarda görülen kullanım alışkanlıklarının değişimi incelenmiştir. Çalışmada yerel halk ile yapılan iki farklı senaryo şeklinde SPSS programı kullanılarak irdelenen anketten elde edilen verilere göre katılımcıların çoğunluğu pandemi sürecinde getirilen kısıtlamaların bu süreç sona erse bile devam etmesi gerektiğini belirtmesi mekanların tasarımında kalıcı bir değişikliğe gidilmesi gerektiğini doğrulamıştır. Makalenin ikinci bölümünde ise mekanların pandemi öncesi, pandemi sırası ve pandemi sonrası muhtemel kullanımları ve anket sorularına verilen cevaplar, karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

Anket çalışmasında katılımcılara yöneltilen senaryo 1 soru 1 senaryo 2 soru 1 senaryo 1 soru 10 senaryo 2 soru 10’dan (sig. 0,022 – sig. 0,000) elde edilen verilere uygulanan Paired Samples T-Test Analizi, senaryo 2 soru 8’den (sig. 0,011) elde edilen verilere uygulanan Anova analizi, senaryo 1 soru 9’dan (sig. 0,012) elde edilen verilere uygulanan Anova Analizi, senaryo 1

soru 5'ten (sig. 0,020) elde edilen verilere uygulanan Kruskal-Wallis Analizi, senaryo 2 soru 3'ten (sig. 0,023) elde edilen verilere uygulanan Kruskal-Wallis Analizi sonucunda kamusal mekanların kullanım açısından eski şekli ile sürdürülebilirliğinin kalmadığı güncel duruma adapte mekanların yeniden tasarlanması gerektiği ortaya konulmuştur. Yapılan incelemeler ve kullanılan analiz yöntemi ışığında elde edilen bulgular yaklaşık iki yıldır dünya gündeminin meşgul eden pandemi ve sonuçları ile alakalı önümüzdeki dönemlerde daha çok bilimsel çalışma yapılması gerektiğinin de bir göstergesidir.

## Kaynakça

Altan, İ. (1993). *Mimarlıkta Mekan Kavramı* (2005 Yayınları, C. 19). Geliş tarihi gönderen <https://dergipark.org.tr/pub/iupcd/118010>

Asar, H. (2013). *Mimari Mekân Okumasında Algısal Deneyim Analizinin Bir Yöntem Yardımıyla İrdelenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Eskişehir Osmangazi Üniversitesi.

Avar, A. (2009). Lefebvre'in Üçlü –Algılanan, Tasarlanan, Yaşanan Mekân– Diyalektiği. *TMMOB Mimarlar Odası Ankara Şubesi Dosya Dergisi*, (17), 7-16.

Bilgin, N. (1990). Fiziksel mekândan insani ya da insanlı mekâna. *Mimarlık Dergisi*, 28(3), 62-65.

Duman, S. (2018). *Mekan Algısı ve Gestalt Kuramı*. Program adı: Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Geliş tarihi gönderen [https://www.academia.edu/37991444/MEKAN\\_ALGISI\\_VE\\_GESTALT\\_KURAMI](https://www.academia.edu/37991444/MEKAN_ALGISI_VE_GESTALT_KURAMI)

Erdönmez, E., & Çelik, F. (2016). Kentsel Mekanda Kamusal Alan İlişkileri. *TÜBA-KED Türkiye Bilimler Akademisi Kültür Envanteri Dergisi*, (14), 145-163.

Lefebvre, H. (1991). *The Production of Space* (S. D Nicholson, Çev.). Oxford.

Solak, S. S. G. (2017). Mekân-Kimlik Etkileşimi: Kavramsal ve Kuramsal Bir Bakış Space-Identity Interaction: a Conceptual and Theoretical Overview. *MANAS Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 6(1), 13-37.

Tekeli İ. (2000). Dünyanın Salgınlar ve Kentler Sarmalında Geldiği Nokta; Covid-19 İlhan Tekeli. *Efil Yayın Grubu*, 1-26.

URL-1 <https://www.dogahasereilaclama.com/cafe-ve-restorant-ilaclama/> (A.T. 07.12.2020)

URL-2 <https://addo.com.tr/covid-19/> (A.T. 10.12.2020)

URL-3 <https://www.duvaronline.com/Spor-Salonu-Fitness-Duvar-Kagidi> (A.T. 07.12.2020)

URL-4 <https://onedio.com/haber/her-uyesi-icin-kapsul-seklinde-ozel-alan-olusturarak-sosyal-mesafe-kuralinin-hakkini-veren-spor-salonu-909111> (A. T. 21.12.2020)

URL-5 <https://pxhere.com/tr/photo/738129> (A.T. 08.12.2020)

URL-6 <http://www.naturadergi.com/anasayfa/post-pandemik-mimarlik/> (A.T. 10.12.2020)

URL-7 <https://www.aa.com.tr/tr/turkiye/uzmanlar-camilerin-yeniden-toplu-ibadete-acilmasini-olumlu-karsiliyor-1856001> (A.T. 10.12.2020)

URL-8 <https://www.sabah.com.tr/dunya/2020/05/17/sosyal-mesafeli-namaz> (A. T. 21.12.2020)

URL-9 <https://www.freeimages.com/tr/premium/university-students-doing-group-study-888713> (A.T. 10.12.2020)

URL-10 <https://www.dezeen.com/2020/06/26/perkins-and-will-meena-krenek-offices-post-coronavirus-pandemic/>(A.T. 07.12.2020)

URL-11 <https://www.hendekgundem.com/guncel/hendek-pazaryeri-acik-h15210.html> (A.T. 11.12.2020)

URL-12 <https://www.archpaper.com/2020/04/speculative-coronavirus-design-concepts/> (A.T. 08.12.2020)

URL-13 <https://www.pabedu.com/yeni-normalde-okul-yapilari> (A.T. 08.12.2020)

URL-14 <https://pbs.twimg.com/media/EGbm5O0XoAQHlro.jpg> (A.T. 08.12.2020)

URL-15 <https://www.bursahayat.com.tr/haber/nobetci-nufus-mudurlugu-uygulamasi-205407.html> (A.T. 08.12.2020)

URL-16 <https://www.aa.com.tr/tr/turkiye/pttden-sosyal-mesafe-uyarisi/1788310> (A.T. 08.12.2020)

URL-17 <https://in.pinterest.com/pin/480618591474776424/> (A.T.13.12.2020)

URL-18 <https://www.sozcu.com.tr/2020/dunya/corona-bir-efsaneyi-yeniden-canlandirdi-arabali-sinemalar-geri-dondu-5786606/amp/> (A.T.14.12.2020)

URL-19 <https://duslerdengecege.com/2010/09/12/sehirlerarasi-otobus-yolculuklari/> (A.T. 08.12.2020)

URL-20 <https://rayhaber.com/2020/03/gaziantep-te-otobus-ve-tramvaylara-sosyal-mesafe-seridi-cekildi/> (A.T.21.12.2020)



# <sup>60</sup>Co Radyoaktif Nokta Kaynağı ile Uçucu Külün Gama Radyasyon Koruma Özellikleri

Gökhan Külekçi<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Gümüşhane, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-2971-4045),  
[gkulekci@gumushane.edu.tr](mailto:gkulekci@gumushane.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 8 Haziran 2021 ve Kabul Tarihi 16 Ağustos 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.949686)

**ATIF/REFERENCE:** Külekçi, G. (2021) <sup>60</sup>Co Radyoaktif Nokta Kaynağı ile Uçucu Külün Gama Radyasyon Koruma Özellikleri, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (27), 145-151.

## Öz

Gelişmekte olan beton teknolojisi sayesinde hafif beton ve uçucu kül betonla ilgili birçok alanda kullanılabilir. Dünyanın güncel sorunlarından olan radyasyondan, korunmak için birçok araştırmacı uçucu külü kullanmış fakat çok az sayıda araştırmacı hafif beton üzerinde çalışmıştır. Radyasyonun etkilerinden korunmak için araştırmacılar ağır beton ve ağır agregalar kullanılarak gama ışını soğurma miktarlarını incelemiştir. Bu çalışmada c sınıfı uçucu kül, çimento yerine %30-50-100 dozajlarında kullanılarak 3 farklı hafif beton hazırlanmıştır. 50\*50\*50 mm boyutlarında hazırlanan kompozit bloklar üzerinde yoğunluk ve basınç dayanımı deneyleri yapılmış, doğrusal zayıflama katsayısı (cm<sup>-1</sup>), kütle zayıflama katsayısı (MAC) ve onuncu katman değeri (TVL) (cm) gibi radyasyon etkileşim parametreleri ölçülmüştür. Radyasyon etkileşim parametreleri HP Ge gama dedektörü kullanılarak elde edilmiştir. Radyasyon ölçümleri için 1173 keV (<sup>60</sup>Co) ve 1332 keV (<sup>60</sup>Co) olarak 2 farklı foton enerjisi kullanılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda uçucu kül içeriği arttıkça basınç dayanımının azaldığı, hazırlanan kompozitlerden %100 uçucu kül içeren örneklerin basınç dayanımının en az olduğu, uçucu kül miktarı düştükçe yoğunluğun arttığı belirlenmiştir. Hazırlanan kompozitlerde enerji seviyeleri arttıkça doğrusal zayıflama katsayısı arttığı görülmüştür. Bu çalışma sayesinde birçok alanda kullanılan uçucu küllerin radyasyon kalkanı olarak kullanılabilceği ortaya konmuştur. Ayrıca bu çalışma ile radyasyon kalkanı üretiminde, ağır agrega kullanılmaması ve hafif beton üretilmesi nedeni ile kalkan üretim maliyeti önemli derecede düşecektir

**Anahtar Kelimeler:** Doğrusal zayıflama katsayısı, Gamma radyasyon kalkanı, Hafif beton, Uçucu kül.

## Gamma Radiation Shielding Properties of Fly Ash With <sup>60</sup>Co Radioactive Point Source

### Abstract

With the help of the developing concrete technology, light concrete and fly ash may be used in several concrete-related fields. Many researchers have used fly ash to protect against radiation, which is one of the current problems of the world, but very few researchers have worked on lightweight concrete. In order to protect from the effects of radiation, the researchers investigated the gamma ray absorption amounts by using heavy concrete and heavy aggregates. In this study, by using Class C fly ash at the doses of 30-50-100% instead of cement, 3 different light concretes were prepared. Density and compressive strength experiments were conducted on the composite blocks prepared with dimensions of 50\*50\*50 mm, and linear absorption coefficients (cm<sup>-1</sup>), mass attenuation coefficients (MAC) and Tenth value layer (TVL) radiation interaction parameters were measured. Radiation interaction parameters were obtained using an HP Ge gamma detector. For radiation measurements, 2 different photon energies as 1173 keV (<sup>60</sup>Co), and 1332 keV (<sup>60</sup>Co) were used. As a result of the analyses, it was determined that compressive strength decreased as the fly ash content increased, the lowest compressive strength values were obtained in the samples containing 100% fly ash among the prepared composites, and density increased as the fly ash content decreased. It was observed that, in the prepared composites, as the energy levels increased, the linear absorption coefficients also increased. With this study, it was revealed that fly ashes that are used in many fields could be used as a radiation shield. Additionally, with this study, due to not using heavy aggregates and due to production of light concrete in the production of radiation shields, the cost of shield production will significantly decrease

**Keywords:** Liner absorption, Gamma radiation shielding, Lightweight concrete, Fly ash

\* Sorumlu Yazar: [gkulekci@gumushane.edu.tr](mailto:gkulekci@gumushane.edu.tr)

## 1. Giriş

Radyasyon kaynakları gelişen teknoloji ile birlikte nükleer santraller, uzay araştırmaları, tıp ve tarım gibi birçok sektörde kullanılmaya başlamıştır (Mann vd., 2010). Radyasyonun insanoğlunun hayatına bu denli fazla girmesi sonucu, insanoğlu radyasyondan korunmak için farklı arayışlara girmiştir. Birçok araştırmacı uygulanabilirliği ve dayanıklılığı nedeni ile beton, çimentolu kompozit gibi ürünleri radyasyon kalkanı olarak tercih etmektedir (Mehta ve Monteiro 2006; Singh vd.,2014; Belgin ve Aycik,2017; Sanjuán vd.,2021). Son zamanlarda yapılan çalışmaların büyük bir çoğunluğunun da yüksek yoğunluğundan dolayı ağır betonlar üzerine odaklanılmıştır (Mheemeed vd., 2012; El-Mahllawy, 2008; Sarkar vd., 2010; Rondi vd., 2016; Nadeem ve Pofale 2012; Ahmedzade ve Sengoz 2009; Ouda, 2015; Alwaeli, 2016). TS EN 206:2013+A1, standartlarında yoğunluğu 800 kg/m<sup>3</sup> 'ten büyük olup 2000 kg/m<sup>3</sup> 'ü geçmeyen betonlar hafif beton, 2001 kg/m<sup>3</sup> 'ten büyük 2500 kg/m<sup>3</sup> arasına normal beton, 2500 kg/m<sup>3</sup> 'ten büyük betonlara ise ağır beton olarak tanımlanır (TS EN 206, 2017). Ağır ve hafif beton gibi özel betonları farklı özellikteki agregalar kullanarak, katkı malzemesi ekleyerek veya yapım yöntemi değiştirilerek üretilebilir. Yakın zamanda, radyoaktif radyasyonların zayıflaması üzerine ağır agregaların (kolemanit, manyetit, hematit, kurşun-çinko, barit gibi) etkisi üzerine birçok araştırma yapılmıştır (Kishore, 2013; Davraz vd., 2017). Dong vd. (2016), ağır manyetit betonun yoğunluğunun, basınç dayanımının ve elastisite modülünün azalan w / c oranıyla arttığını, Ouda (2015), ağır manyetit betonun, ağır barit ve götit betonlara göre gama ışınlarına karşı daha iyi fiziksel ve mekanik özelliklere ve daha yüksek radyasyon zayıflama gücüne sahip olduğunu, Horszczaruk vd. 2015, ağır manyetit agregalarının uygulanmasının, yüksek sıcaklığın koruyucu betonun mekanik özellikleri üzerindeki olumsuz etkileri azaltabileceğini bulmuşlardır. Çullu ve Bakırhan 2018, yaptıkları çalışmada ağır agregalı (kurşun-çinko) betonlarda betonun dayanım derecesi ile radyasyon soğurma katsayısının etkilediğini belirtmişlerdir. Radyasyon zirhlayıcı malzeme üretirken doğal agrega yerine ağır agregaların kullanılması hem maliyeti artırmakta hem de doğal kaynakları tüketilmesine neden olmaktadır (BIS, 2009; Esen ve Doğan, 2008). Bu nedenle radyasyon zırhı olarak üretilecek kompozitlerde, atık ve endüstriyel yan ürünlerin kullanımı sağlanmalıdır. Bu kullanım sayesinde, bertarafı küresel olarak büyük bir sorun olan atıklara ve yan ürünlere alternatif kullanım alanı sağlanacak ve maliyet önemli ölçüde düşürülecektir. Bu konuda yapılan çalışmalar az olmakla birlikte, çimento yerine veya ikame olarak öğütülmüş yüksek fırın cürufu, silis dumanı, dökümhane kumu, çimento fırın tozu ve uçucu kül gibi yan ürünler incelenen başlıca malzemelerdir (Singh vd.,2014; Çullu ve Bakırhan 2018; Ameri vd., 2020).

Çeşitli katkılar arasında uçucu kül, puzolanik yapısı nedeniyle en uygun olanıdır. Uçucu kül sadece dolgu görevi görmez, aynı zamanda bir bağlayıcı özelliği de taşır. Çimentonun hidratasyonu sırasında açığa çıkan serbest kireç ile reaksiyona girerek betonun uzun yaş dayanımını olumlu yönde etkiler (Küleççi, 2018). Uçucu külün radyasyon önleme özelliğini birçok araştırmacı çalışmıştır (Singh vd., 2003; Ignjatovic vd., 2017; Gerasimova, 2016; Küleççi, 2021b). Bazı araştırmacılar farklı oranlarda çimentoya ilave olarak uçucu kül kullanmışlardır. Sonuç olarak uçucu külün dayanımı ve mekanik özellikleri olumlu yönde artırdığı görülürken radyasyon kalkanına çok az etki yaptığını raporlamışlardır (Singh vd.,2014;

Küleççi, 2018). Ayrıca birçok araştırmacı uçucu külün fiziksel ve mekanik özelliklerini incelemiştir (Singh vd., 2003; Ignjatovic vd., 2017).

Literatürde yapılan çalışmaların genelinde yoğunluğu yüksek ağır beton kullanılmıştır (Esen ve Doğan, 2008; Ignjatovic vd., 2017; Gerasimova, 2016). Bu çalışmada ise düşük yoğunluklu hafif beton kullanılmıştır. Bu açıdan hafif betonda yapılan ilk çalışmalardandır (Küleççi, 2021b). Maliyeti düşürmek, doğal kaynakların kullanımını azaltmak ve çevresel açıdan zararlı olan yan ürünlerin kullanım alanlarını artırmak için, daha ucuz malzemeler kullanarak radyasyon koruyucu kompozitler geliştirmeye ihtiyaç vardır.

Bu çalışmada, çimento yerine yüzde 30, 50 ve 100 oranlarında uçucu kül kullanılarak 50\*50\*50 boyutlarında 12 adet beton numunesi hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler için mekanik özellikler, yoğunluk ve basınç dayanımı ölçülmüştür. Bu mekanik özelliklerin yanı sıra, hazırlanan numuneler için radyasyon etkileşim parametrelerinden; doğrusal ( $\mu$ ) ve kütle zayıflama katsayısı (MAC), onuncu katman değeri (TVL) <sup>60</sup>Co radyasyon kaynağı kullanılarak 1173 keV ve 1332 keV foton enerjisinde hesaplanmıştır.

### 1.1. Teorik Bilgi

Radyasyon kalkan malzemesinden gama ışını zayıflamasının özellikleri, doğrusal zayıflama katsayısı ( $\mu$ ), onuncu değerli katman (TVL) ve ortalama serbest yol (MFP) gibi çeşitli fiziksel parametreler hesaplanarak test edilebilir. Bunlar bir malzemedeki gama radyasyonunun karakterizasyonunda önemli parametrelerdir. Bu parametreler, yollanan radyasyon enerjisine, kütle yoğunluğuna ve malzemenin atom numarasına bağlı olarak farklılık gösterir. Bunları hesaplamak için kullanılan formüller aşağıda verilmiştir (Gökçe vd., 2020).

Doğrusal zayıflama katsayısı Bira-Lambert yasası ile belirlenebilir:

$$I=I_0e^{-\mu x} \quad (1)$$

Burada  $\mu$  belirli bir gama ışını enerjisi için doğrusal zayıflama katsayısıdır.  $I_0$  ölçüm cihazının boş durumdaki ilk sayımı,  $X$  radyasyon kalkanı olarak kullanılacak malzemenin kalınlığı,  $I$  ise yalıtım malzemesi varken okunan enerjidir.

Kütle zayıflama katsayısı (MAC) aşağıdaki denklem ile hesaplanır:

$$MAC=\mu/\rho=[1/(\rho x)]*\ln(I_0/I) \quad (2)$$

Burada  $\rho$ , malzemenin fiziksel yoğunluğudur.

Onuncu katman kalınlığı (TVL), bir malzeme için radyasyon yoğunluğunu onda bir oranında azaltmak için kullanılması gereken minimum kalınlığıdır. Bu değer denklemlerle hesaplanabilir:

$$TVL=2.30/\mu \quad (3)$$

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Materyal

#### 2.1.1. Çimento

Çalışmada bağlayıcı malzeme olarak CEM I 42.5 R (TS EN 197-1) sınıfı çimento kullanılmıştır. Kullanılan çimentonun

kimyasal, fiziksel ve basınç özellikleri Tablo 1'de verilmiştir (Külekçi, 2013).

#### 2.1.2. Uçucu Kül

Bu çalışmada termik santralden elde edilen pozzolan katkı maddesi C sınıfı uçucu kül kullanılmıştır. Uçucu külün kimyasal, fiziksel ve mineralojik özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Uçucu kül ve çimentonun kimyasal bileşimleri ve fiziksel özellikleri.

	Kimyasal içerik (%)			Fiziksel özellikler	
	Uçucu kül	Çimento		Uçucu kül	Çimento
SiO <sub>2</sub>	23.08	18.59	Özgül ağırlık (g/cm <sup>3</sup> )	2.44	3.05
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.25	4.69	Özgül yüzey alanı (cm <sup>2</sup> /g)	2496	4145
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.58	3.04	Öğütme süresi (min.)	30	-
MgO	1.6	1.92	7 günlük pozzolanik aktivite (MPa)	15.8	-
CaO	47.03	60.34	Kalsinasyon derecesi (0C)	-	800-1000
Na <sub>2</sub> O	0.32	0.11			
K <sub>2</sub> O	0.47	0.64			
LOI*	3.95	7.19			

\* Kızdırma kaybı

## 2.2. Metot

### 2.2.1. Deneysel numunelerinin hazırlanması

Araştırmada kullanılan beton numuneleri 30FA, 50FA, 100FA olmak üzere üç grup halinde tasarlanmış ve hazırlanan kompozitler üzerinde radyasyon kalkanlama ve mekanik testler yapılmıştır. Çimento yerine farklı oranlarda (%30-50-100) uçucu kül kullanılarak 50 \* 50 \* 50 mm boyutlarında 21 kompozit numune hazırlanmıştır. Karışım oranları Tablo 2'de verilmiştir.

### 2.2.2. Yoğunluk analizi

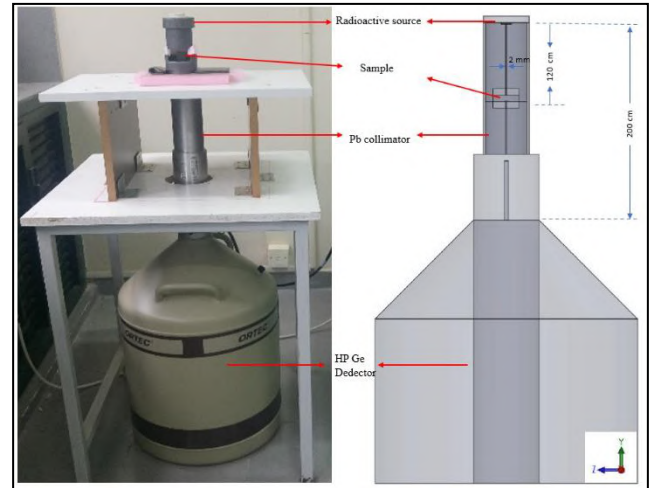
Üretilen numunelerin yoğunluğu TS EN 2823 standartına göre belirlenmiştir (TS EN 2823, 2011). Her grup kendi içerisinde yoğunluk hesabı yapılmış ve ortalamanın %7'sinden fazla veya az değerler hesaplamaya katılmamıştır.

### 2.2.3. Basınç dayanımı

5×5×5 cm büyüklüğündeki numunelerin tek eksenli basınç dayanımları belirlenmiştir. Tek eksenli basınç dayanım deneyi TS EN 2823 göre belirlenmiştir.

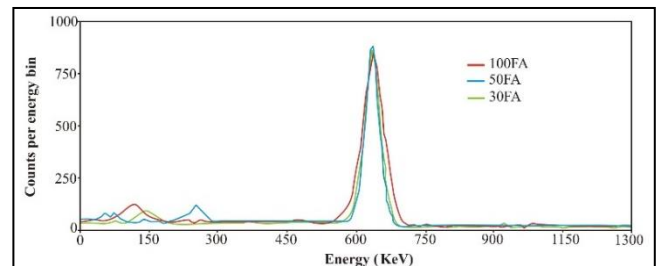
### 2.2.4. Radyasyon geçirgenliği

Hazırlanan beton kompozitlerin radyasyon geçirgenlikleri, <sup>60</sup>Co radyo izotopu kullanılarak 1173 ve 1332 keV enerji seviyelerinde test edilmiştir. Bu deneyler ile doğrusal zayıflama katsayısı (μ), kütle zayıflama katsayısı, onuncu tabaka yarılanma kalınlığı (TVL) parametreleri 2 farklı foton enerjisinde belirlenmiştir. Ölçümlerde HP Ge detector kullanılmıştır. Kullanılan dedektörün özellikleri Tablo 3'de verilmiştir. Öncelikli olarak dedektör boş çalıştırılmış ve sayım yapılmıştır daha sonrasında örnekler hazneye konarak sayım yapılmış ve formüller yardımı ile kompozit malzemelerin radyasyon geçirgenliği ölçülmüştür.



Şekil 1. Radyasyon geçirgenlik ölçümü için deneysel düzeneğin şematik görünümü ve örnek enerji pik grafiği.

Denyde dar ışın geometrisi yöntemi kullanılmıştır. Radyasyon geçişini görmek için örnekler inceltirilerek Şekil 1'de görülen düzende yerleştirilmiştir. Her bir kompozit grubu için üç ölçüm olmak üzere toplam 9 ölçüm yapılmıştır. Detektörde okunan örnek spektrum dağılımları Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Veri toplama sistemi ile kaydedilen örnek bir spektrum.

Tablo 2. Karışım oranları

Malzemeler	Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )	Örnek Kodları/Üretilen adet					
		100FA/ 7 adet		50FA/ 7 adet		30FA/ 7 adet	
		Hacim (m <sup>3</sup> )	Ağırlık (kg)	Hacim (m <sup>3</sup> )	Ağırlık (kg)	Hacim (m <sup>3</sup> )	Ağırlık (kg)
Kum	2.18	727	1585	741	1615	745	1625
Uçucu kül	2.44	123	300	61	150	37	90
Çimento	3.08	0	0	49	150	68	210
Su	1	150	150	150	150	150	150
W/C		0.5		0.5		0.5	
Toplam		1000	2035	1001	2065	1000	2075

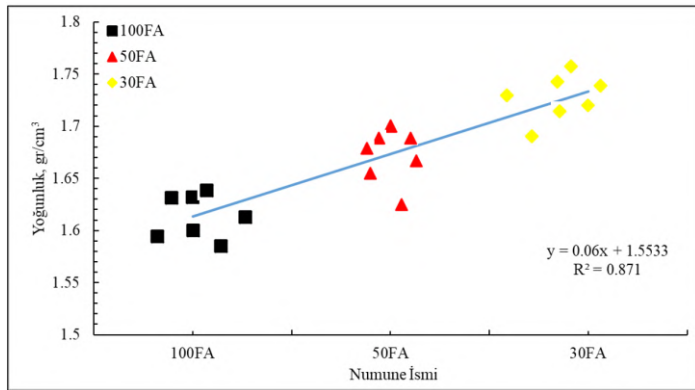
Tablo 3. Ölçümlerde kullanılan HP Ge dedektörünün parametreleri (Çelik, 2012)

Tür	Kristal çapı	Kristal aktif hacim	Kristalin boyu	Giriş penceresi	Giriş penceresi kalınlığı	Ge ölü tabaka kalınlığı	Verimlilik
p	7.3 cm	201.9 cm <sup>3</sup>	0.5 cm	Al	1 mm	600 µm	55%

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Uçucu kül kullanılarak üretilen 15 kompozit üzerinde 3 farklı kür süresi (3-7-28 gün) sonrasında yoğunluk ve basınç mekanik deneyleri, 28 günlük kürlenme işlemi sonrasında doğrusal zayıflama katsayısı ( $\mu$ ), kütle zayıflama katsayısı ve onuncu kat değer katmanı (TVL), değerleri ölçülmüştür. Ölçüm işlemi 60Co kaynağı kullanılarak 1173 keV, 1332 keV olmak üzere 2 farklı foton enerjisinde test edilmiştir.

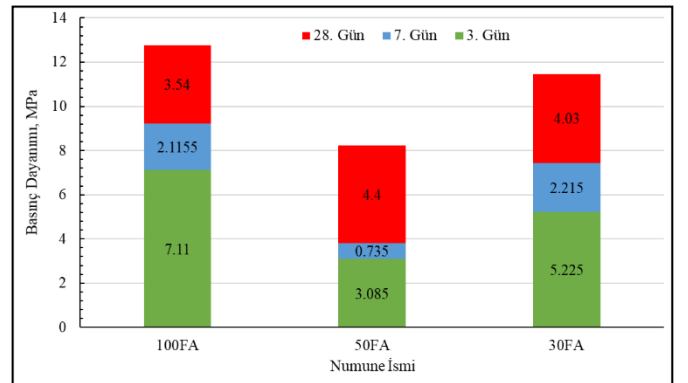
Yapılan çalışmalarda, kompozitlerin uçucu kül içeriği ile yoğunluklarının ters orantılı olduğu görülmüştür. Uçucu kül oranının %100 olduğu 100FA numunelerinde kompozit yoğunluğu 1.6 g/cm<sup>3</sup> olurken 30FA numunelerinde yoğunluk 1.72 g/cm<sup>3</sup> olarak ölçülmüştür. (Şekil 3). Ayrıca yapılan çalışmada kompozit yoğunluklarının 1,8 g/cm<sup>3</sup> den düşük olduğu ve hafif beton sınıfına girdiği ortaya konmuştur (TS EN 206, 2017).



Şekil 3. Kompozit malzemelerin ortalama yoğunluğu ve standart sapma değerleri.

Literatürde yapılan gama soğurma çalışmalarının, büyük bir çoğunluğunun ağır betonlar üzerinde yapılması nedeni ile bu çalışma ender çalışmalardandır.

3 karışım oranı ile farklı kür süresinde yapılan basınç dayanım deneyi sonucunda 30FA kompozit malzemelerin dayanımlarının bütün kür süreleri için en fazla dayanım sağladığı görülmüştür. Bununla birlikte %100 uçucu kül (100FA) içerikli kompozitlerin 3 gün sonra da 3.09 MPa, 28 gün sonunda ise bu değeri %166 artarak 8.22 MPa değerine ulaştığı ve serideki en düşük dayanımı ürettiği görülmüştür (Şekil 4). Genel olarak dayanımda puzolonik aktivite etkili olsa da, bu etki uzun kür sürelerinde görünmektedir (Çullu ve Bakırhan, 2018). Bu açıdan uçucu kül puzolonik olmasına rağmen dayanımı çimentodan düşük olduğu için çimento oranı azaldıkça dayanım düşmüştür. Dayanımı etkileyen ikinci bir parametrede tane boyutuna bağlı 'dolgu' etkisidir. Dolgu etkisi (filler) beton matrisin daha kompakt bir yapıya sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Literatürde de benzer çalışmalarda filler etkisi konusunda benzer sonuçlar bulunmuştur (Külekçi vd., 2018; Nikbin vd., 2019; Lee ve Kweon, 2020).



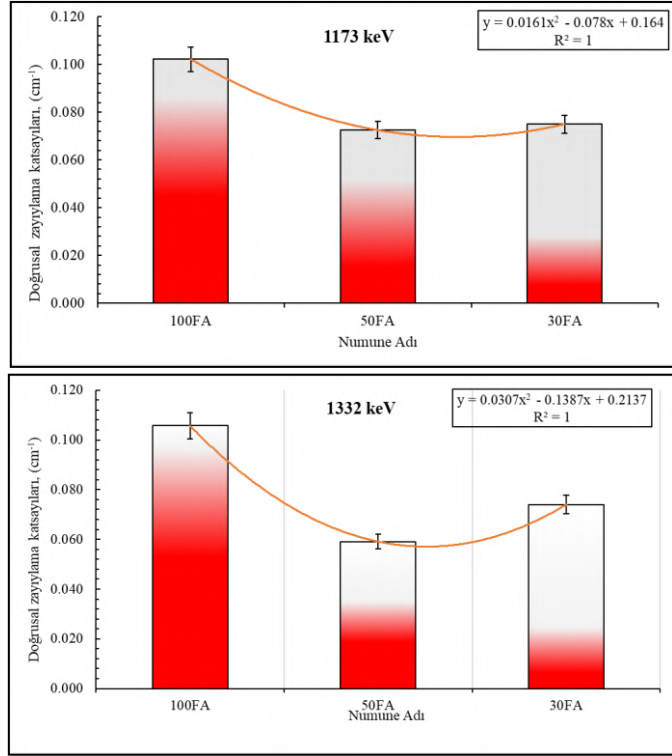
Şekil 4. Kür süresine bağlı basınç dayanımları

Yapılan radyasyon soğurma deneylerinde, her iki enerji seviyesinde de en yüksek doğrusal zayıflama katsayısını ( $\mu$ ) 100FA göstermiştir. Enerji seviyesi yükseldikçe  $\mu$  azalmıştır. Bu azalmanın sebebi fotonların, üretilen kompozitler ile gösterdiği etkileşimdir. Gama ışınlarının etkileşim mekanizması düşük enerji seviyesi için fotoelektrik soğurma, orta enerji seviyesi için

Compton saçılması, yüksek enerji seviyeleri için ise çift üretilir (Akkurt vd., 2005). Şekil 5 de fotoelektrik etkinin baskınlığı nedeniyle FA numunelerinde doğrusal zayıflama katsayısının azaldığı görülmüştür. Önceki uçucu kül ve betonda yapılmış benzer çalışmalarda da bu şekilde düşüş saptanmıştır (Mann vd., 2010; Kilincarslan vd., 2006; Hassan vd.,2015).

Doğrusal zayıflama katsayılarının foton enerjisine ve koruyucu malzemenin yoğunluğuna bağlı olduğu, buna bağlı olarak en yüksek yoğunlukta ki 30FA kompozit numunelerin gama ışınlarının korunmasında dikkat çekici derecede etkili olduğu açıkça görülmektedir. Benzer sonuçlar literatürde de bulunmuştur (Mann vd., 2010; Wongso vd., 2020; Faramawy vd., 2015)

Şekil 6 da görüldüğü gibi kütle soğurma katsayısı kompozit malzemelerdeki uçucu kül oranı ile ilişkilidir. Çimento yerine tamamen uçucu kül kullanıldığı 100FA numunelerinde, kütle soğurma katsayısı 1173 keV enerjide 0,064 cm<sup>2</sup>/g iken 1332 keV enerjide 0,066 cm<sup>2</sup>/g dir. %50 uçucu kül içeren 50FA kompozitlerin kütle soğurma katsayıları 1173 keV enerjide 0,043 cm<sup>2</sup>/g iken 1332 keV enerjide %18,6 azalarak 0,035 cm<sup>2</sup>/g olmuştur.

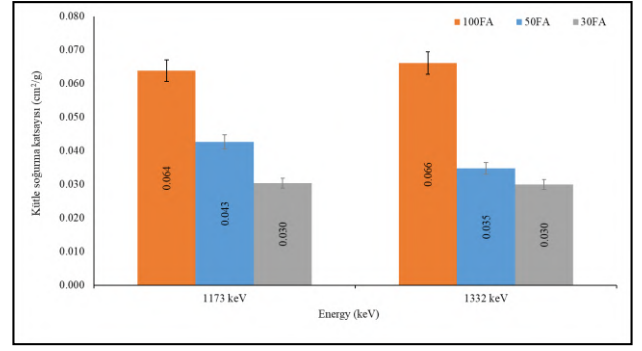


Şekil 5. Farklı enerji seviyelerinde FA örneklerinin doğrusal zayıflama katsayıları

#### 4. Sonuç

Çimento yerine %0-30-50 ve 100 oranlarında uçucu kül kullanılarak hazırlanan kompozitler üzerinde yoğunluk, basınç dayanımı deneyleri ve 2 farklı enerji seviyesinde doğrusal (cm<sup>-1</sup>) ve kütle zayıflama katsayıları (cm<sup>2</sup>/gr), TVL (cm) kalınlıkları incelenmiştir. İnceleme sonucunda;

Hazırlanan kompozit blokların yoğunluklarının 2 gr/cm<sup>3</sup> den düşük olduğu ve hafif beton sınıfına girdikleri,

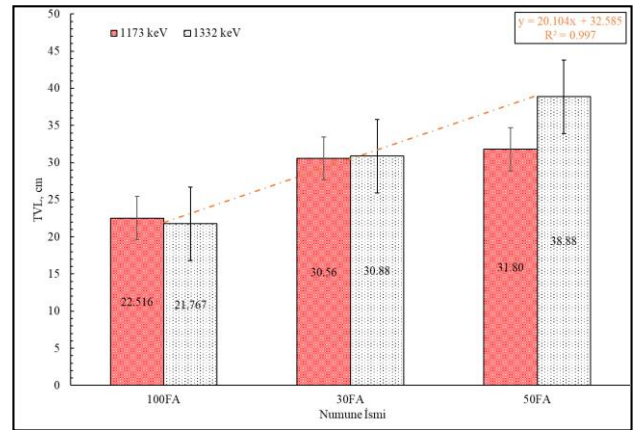


Şekil 6. Enerji değişimine bağlı kütle zayıflama katsayılarının değişimi

Onuncu değer katmanı (TVL), foton yoğunluğunu on kat zayıflatmak için gereken numune kalınlığıdır (Tekin vd., 2020; Sayyed ve El-Mallawany,2017). Yapılan çalışmada en iyi TVL değeri 100FA numuneleri için çıkmıştır. 1173 keV enerjide%30 uçucu kül ile üretilen kompozitlerin (30FA) onuncu değer katmanı 30,56 cm olarak ölçülmüştür. 1332 keV enerjide TVL değeri 100FA numunelerinde 21,77 cm ölçülürken 50FA örneklerinde ise 38,88 cm olarak ölçülmüştür (Şekil 7).

Genel olarak bütün numunelerde uçucu kül oranı azaldıkça TVL kalınlığının arttığı belirlenmiştir. Bunun sebebi çimento içeren kompozitlerde radyasyon emiliminin azaldığıdır. Daha yüksek enerji seviyelerinin zayıflatılması için numune kalınlığının artırılması gerekmektedir. Literatürde yapılan çalışmalarda bunu destekler niteliktedir (Külekcı 2021; Elalaily vd., 2016; Koksall vd., 2019; Junior vd., 2017; Singh vd.,2015; Omran vd., 2019).

Ayrıca Mann vd., 2010, yapmış oldukları çalışmada uçucu kül içeriğinin TVL değerini bir miktar artırdığı ortaya koymuşlardır. Bu çalışmalar yapmış olduğumuz çalışmayı destekler niteliktedir.



Şekil 7. Uçucu kül içeriğinin TVL üzerine etkisi

Uçucu kül içeriği ile yoğunluklarının ters orantılı olduğu ve uçucu kül oranı arttıkça yoğunluğun düştüğü,

Kompozit blokların mekanik özellikleri incelendiğinde, çimento yerine %100 uçucu kül kullanılan kompozit malzemelerin dayanımlarının bütün kür süreleri için en fazla dayanım sağladığı,



Radyasyon etkileşim parametreleri incelendiğinde, bütün enerji seviyelerinde en yüksek doğrusal zayıflama katsayısını ( $\mu$ ) 100FA örneklerinin gösterdiği,

Yapılan çalışmada çimento içeren kompozitlerde radyasyon emiliminin azaldığı enerji seviyesi arttıkça TVL kalınlığının genel olarak arttığı buna bağlı olarak, bütün numunelerde uçucu kül oranı azaldıkça TVL kalınlığının arttığı belirlenmiştir

Enerji seviyeleri düştükçe FA katkılı blokların enerji seviyesi değişiminden çok az etkilendiği saptanmıştır.

## 5. Teşekkür

Bu çalışmada laboratuvar imkanlarını kullanılmasına izin veren ve bilgi desteği sağlayan Prof. Dr. Gökhan APAYDIN ve Prof. Dr. Necati ÇELİK'e çok teşekkür ederiz.

## Kaynakça

Ahmedzade, P.; Sengoz, B. (2009). Evaluation of steel slag coarse aggregate in hot mix asphalt concrete, *J. Hazard. Mater.*, 165, 300–305.

Akkurt, I.; Mavi, B.; Akkurt, A.; Basyigit, C.; Kilincarslan, S.; Yalim H.A. (2005). Study on Z-dependence of partial and total mass attenuation coefficients *J. Quant. Spectrosc. Radiat.*, 379-385.

Alwaeli, M. (2016) The implementation of scale and steel chips waste as a replacement for raw sand in concrete manufacturing, *J. Clean. Prod.*, 137,1038–1044.

Ameri, F.; Brito, J.; Madhkan, M.; Taheri, R.A. Steel fibre-reinforced high-strength concrete incorporating copper slag: Mechanical, gamma-ray shielding, impact resistance, and microstructural characteristics *Journal of Building Engineering* 2020, 101-118.

Belgin EE, Aycik GA (2017) Effect of particle size of mineral fillers on polymer-matrix composite shielding materials against ionizing electromagnetic radiation *J Radioanal Nucl Chem* 311, 1953–1961 <https://doi.org/10.1007/s10967-016-5156-z>

Bureau of Indian Standards, Indian Standard: Concrete Mix Proportioning – Guidelines (First Revision) 2009, <http://www.mis.wbprd.gov.in/Engineering/Codes/IS10262.pdf>.

Çelik, N. Determination of the dependence of HPGe virtual point detector location on source dimensions in 60 keV–2 MeV range using Monte Carlo simulation, *Journal of Instrumentation* 2012, 7.

Çullu, M.; Bakırhan E. Investigation of radiation absorption coefficients of lead-zinc mine waste rock mixed heavy concrete at 662–1460 keV energy range *Constr. Build. Mater.* 2018, 173, 17-27

Davraz, M.; Pehlivanoglu, H.E.; Kilincarslan, S.; Akkurt, I. Determination of radiation shielding of concrete produced from Portland cement with boron additives, *Acta Phys. Pol.* 2017, 132,702-704.

Dong, M.; Xue, X.; Yang, H.; Liu, D.; Wang, C.; Li, Z. A novel comprehensive utilization of vanadium slag: as gamma ray shielding material, *J. Hazard. Mater.* 2016, 318, 751–757.

Elalaily, N.A.; Abou-Hussien E. M.; Saad, E.A. Bismuth silicate glass containing heavy metal oxide as a promising radiation shielding material, *Radiation Effects and Defects in Solids* 2016, 840-854.

El-Mahllawy, M.S. Characteristics of acid resisting bricks made from quarry residues and waste steel slag, *Constr. Build. Mater.* 2008, 221887–1896.

Esen, Y.; Dogan, Z.M. Investigation of usability of limonite aggregate in heavyweight concrete production, *Prog. Nucl. Energy* 2008, 105, 185–193.

Faramawy, N.E.; Ramadan, W.; Zakla, T.E.; Sayed, M.; Dessouky, M.E. and Sakr, K. Effect of ilmenite on the attenuation coefficient of gamma ray shielding cementitious matrix, *Radiation Effects and Defects in Solids.* 2015, 876-886.

Gerasimova, E. The Effect of Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> on the Mechanical Properties of the Polymer Modified Cement Containing Fly Ash, *Procedia Eng.* 2016, 150, 1553-1557.

Gökçe, H.S.; Canbaz, Ö.B.; Çam, N.F.; Çakır, A.Ö. Natural radioactivity of barite concrete shields containing commonly used supplementary materials, *Construction and Building Materials* 2020, 236, 10, 117569.

Hassan, H.E.; Badran, H.M.; Aydarous, A.; Sharshar T. Studying the effect of nano lead compounds additives on the concrete shielding properties for  $\gamma$ -rays *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res.* 2015, 360, 81-89.

Horszczaruk, E.; Sikora, P.; Zaporowski, P. Mechanical properties of shielding concrete with magnetite aggregate subjected to high temperature, *Procedia Eng.* 2015, 108,39–46.,

Ignjatovic, I.; Sas, Z.; Dragas, J.; Somlai, J.; Kovacs, T. Radiological and material characterization of high volume fly ash concrete, *Journal of Environmental Radioactivity* 2017, 168, 38-45.

Junior, T.A.A.; Nogueira, M.S.; Vivolo, V.; Potiens, M.P.A.; Campos L.L. Mass attenuation coefficients of X-rays in different barite concrete used in radiation protection as shielding against ionizing radiation *Radiat. Phys. Chem.* 2017, 140, 349-354.

Kilincarslan, S.; Akkurt, I.; Basyigit, C. The effect of barite rate on some physical and mechanical properties of concrete, *Mater. Sci. Eng.* 2006, 424, 83-86.

Kishore, K. Sand For Concrete From Steel Mills Induction Furnace Waste Slag. 2013.

Koksal, O.K.; Apaydin, G.; Tozar, A.; Karahan, I.H.; Cengiz, E. Assessment of the mass attenuation parameters with using gamma-rays for manganese substituted nano hydroxyapatite. Mixture proportions, 2019, 159, 76-80.

Külekçi G, The Effect of Pozzolans and Mineral Wastes on Alkali-silica Reaction in Recycled Aggregated Mortar, *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, 2021a, 65 (3), 741-750

Külekçi, G., Investigation of fly ash added light concretes with respect to gamma radiation transmission properties of 133-Ba and 137-Cs, *Radiation Effects and Defects in Solids*, 2021b, <https://doi.org/10.1080/10420150.2021.1963726> .

Külekçi G. “Investigation of the utilization areas of construction and demolition wastes in the black sea region instead of aggregate and their areas of usage in the mining industry”, KTÜ, Institute of science, PHD dissertation, Trabzon, 2018.

Külekçi, G. “The Effect of Pozzolans and Mineral Wastes on Alkali-silica Reaction in Recycled Aggregated Mortar”, *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, 2021. <https://doi.org/10.3311/PPci.17355>

Külekçi, G. Investigation of the utility of the waste brick and marble powders on the paste backfill, master's thesis, Karadeniz Technical University, 2013

- Külekeçi, G., Erçikdi, B., Aliyazicioğlu, Ş. Effect of waste brick as mineral admixture on the mechanical performance of cemented paste backfill, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2018, 44 (4), 042039.
- Lee, J.W.; Kweon D.C. Evaluation of radiation dose reduction by barium composite shielding in an angiography system, *Radiation Effects and Defects in Solids*, 2020.
- Mann HS, Brar GS, Mann KS, Mudahar GS (2016) Experimental Investigation of Clay Fly Ash Bricks for Gamma-Ray Shielding. *Nuclear Engineering and Technology* 48(5), 1230-1236
- Mehta PK, Monteiro PJM (2006) *Concrete: Microstructure, Properties and Materials*. McGraw-Hill, New York, NY, USA, 3rd edition
- Mheemmed AK, Hasan HI, Al-Jomaily FM (2012) Gamma-ray absorption using rubber—lead mixtures as radiation protection shields. *J Radioanal Nucl Chem* 291, 653–659 <https://doi.org/10.1007/s10967-011-1556-2>
- Nadeem, M.; Pofale, A. Experimental investigation of using slag as an alternative to normal aggregates (coarse and fine) in concrete, *Int. J. Civ. Struct. Environ. Infrastruct. Eng. Res. Dev.* 2012, 3, 117–127.
- Nikbin, I.M.; Mohebbi, R.; Dezhampannah, S.; Mehdipour, S.; Mohammadi, R.; Nejat T. Gamma ray shielding properties of heavy-weight concrete containing Nano-TiO<sub>2</sub> *Radiat. Phys. Chem.* 2019, 162, 157-167.
- Omran, O.L.; Sadrumontazi, A.; Nikbin, I.M. A comprehensive study on the effect of water to cement ratio on the mechanical and radiation shielding properties of heavyweight concrete *Construction and Building Materials* 2019, 229, 116905.
- Ouda, A.S. Development of high-performance heavy density concrete using different aggregates for gamma-ray shielding, *Prog. Nucl. Energy* 2015, 79, 48–55.
- Rondi, L.; Bregoli, G.; Sorlini, S.; Cominoli, L.; Collivignarelli, C.; Plizzari, G. Concrete with EAF steel slag as aggregate: a comprehensive technical and environmental characterisation, *Compos. Part B Eng.* 2016, 90, 195–202.
- Sanjuán MÁ, Suarez-Navarro JA, Argiz C. et al. (2021) Radiation dose calculation of fine and coarse coal fly ash used for building purposes *J Radioanal Nucl Chem* 327, 1045–1054. <https://doi.org/10.1007/s10967-020-07578-8>
- Sarkar, R.; Singh, N.; Das, S.K. Utilization of steel melting electric arc furnace slag for development of vitreous ceramic tiles, *Bull. Mater. Sci.* 2010, 33, 293–298.
- Sayyed, M.I.; El-Mallawany, R.; Shielding properties of (100-x) TeO<sub>2</sub>-(x)MoO<sub>3</sub> glasses. *Mater. Chem. Phys.* 2017, 201, 50–56.
- Singh K, Singh S, Singh G (2014) Effect of Fly ash Addition on Mechanical and Gamma Radiation Shielding Properties of Concrete. *Journal of Energy* 7
- Singh, K.; Singh, C.; Sidhu, G.S.; Singh, J.; Singh, P.S.; Mudahar, G.S. Fly ash: a radiation shielding material, *Indian Journal of Physics*, 2003, 77A, 41–45.
- Singh, V.P.; Medhat, M.E.; Badiger, N.M.; Rahman A.Z.M.S. Radiation shielding effectiveness of newly developed super conductors *Radiat. Phys. Chem.* 2015, 106, 175-183.
- Tekin, H.O.; Kavaz, E.; Sayyed, M.I.; Agar, O.; Kamislioglu, M.; Altunsoy Guclu E.E. and Eke C. An extensive study on nuclear shielding performance and mass stopping power (MSP)/projected ranges (PR) of some selected granite samples, *Radiation Effects and Defects in Solids*, 2020.
- TS EN 206:2013+A1, Concrete - Specification, performance, production and conformity, Turkish Standard, Turkey 2017.
- TS EN 2823, Standard Members of Pumice, Definitions and Requirements, Ankara, 2011.
- Wongso, P.M.; Dewang, S.; Jumpeno, B.Y.E.B.; Firmansyah, O.A.; Mellawati, J. Experimental Study of Concrete Composites of Fly Ash and Ferronickel Slag for Gamma-Ray Shielding, *A Scientific Journal for The Applications of Isotopes and Radiation* 2020, 16, 1.



# Valorization of Peel Wastes of Purple Turnip (*Brassica rapa* L.): Extraction of Polyphenolics Through Ultrasonic-Assisted Extraction and Investigation of Changes in Total Phenolic Content, Total Monomeric Anthocyanin Content and Total Antioxidant Capacity During *in vitro* Gastro-Intestinal Digestion

Aysun Yucetepe\*

\*Aksaray University, Faculty of Engineering, Department of Food Engineering, Aksaray, Turkey, (ORCID: 0000-0002-3800-4774), aysunyucetepe@aksaray.edu.tr.

(First received 9 June 2021 and in final form 16 August 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.949244)

**ATIF/REFERENCE:** Yucetepe, A. (2021). Valorization of peel wastes of purple turnip (*Brassica rapa* L.): Extraction of phenolics through ultrasonic-assisted extraction and investigation of changes in total phenolic content, total monomeric anthocyanin content and total antioxidant capacity during *in vitro* gastro-intestinal digestion. European Journal of Science and Technology, (27), 152-157.

## Abstract

Fruits and vegetables include high levels of bioactive compounds with health-promoting effects. Especially, peels, which are one of the generally inedible fractions of fruit or vegetable, have higher amount of polyphenolic compounds than their pulps or seeds, since they accumulate in their peels. Purple turnip (*Brassica rapa* L.) is one of the important members of Brassicaceae family due to its nutritional composition. In this context, the aim of the study was to reveal the potency of peels from purple turnip as a natural antioxidant ingredient. To reach this aim, the spectrophotometric assays including the Folin-Ciocalteu method for total phenolic content (TPC), the pH differential method for total monomeric anthocyanin content (TMAC) and CUPRAC and DPPH methods for total antioxidant capacity (TAC) before and after *in vitro* gastro-intestinal digestion were carried out. According to results of the study, TPC and TMAC of the polyphenolic extract obtained by ultrasound-assisted extraction were 169.29±6.89 mg GAE/g dw and 159.53±10.82 mg CGE/L, respectively. The TAC of the extracts was 44.19±0.10 mg TE/g dw in CUPRAC assay and 38.52±0.06 mg TE/g dw in DPPH assay. The bioaccessibilities of total phenolics and anthocyanins from extracts after *in vitro* digestion process were approximately 17% and 6% and the antioxidant capacity of the bioaccessible extract fraction was approximately 28% (CUPRAC) and 0% (DPPH).

**Keywords:** Anthocyanins, antioxidant capacity, bioaccessibility, phenolics, purple turnip.

## Mor Şalgam (*Brassica rapa* L.) Kabuk Atıklarının Değerlendirilmesi: Ultrasonik Destekli Ekstraksiyon ile Polifenoliklerin Ekstraksiyonu ve *in vitro* Mide-Bağırsak Sindirim Sırasında Toplam Fenolik Madde, Toplam Monomerik Antosiyanin Miktarı ve Toplam Antioksidan Kapasitedeki Değişimin Araştırılması

### Öz

Meyve-sebzeler sağlık üzerinde olumlu etkileri olan yüksek düzeyde biyoaktif bileşenler içermektedir. Özellikle meyve-sebzelerin yenilmeyen kısımlarından olan kabuklar, polifenolik bileşiklerin burada birikmesinden dolayı, iç veya çekirdeklerine göre daha yüksek oranda polifenolik bileşikler içermektedir. Mor şalgam (*Brassica rapa* L.), besinsel içeriğinden dolayı *Brassicaceae* ailesinin önemli üyelerinden biridir. Bu bağlamda, bu çalışmanın amacını, mor şalgam sebzesinden kabukların *in vitro* mide-bağırsak sindirim öncesi ve sonrasında, spektrofotometrik yöntemlerden olan toplam fenolik madde için Folin-Ciocalteu metodu, toplam monomerik antosiyanin içerik için pH diferansiyel metot ve toplam antioksidan kapasite için CUPRAC ve DPPH yöntemlerini kullanarak, doğal bir antioksidan kaynağı olarak potansiyelinin araştırılması oluşturmaktadır. Çalışmanın sonuçlarına göre, ultrases destekli ekstraksiyon ile elde edilen polifenolik ekstraktın toplam fenolik ve toplam monomerik antosiyanin içerikleri sırasıyla kuru ağırlıkta 169,29±6,89 mg GAE/g ve 159,53±10,82 mg CGE/L olarak bulunmuştur. Ekstraktların toplam antioksidan kapasitesi ise CUPRAC yöntemi ile kuru ağırlıkta 44,19±0,10 mg TE/g ve DPPH yöntemi ile 38,52±0,06 mg TE/g olarak tespit edilmiştir. Ekstraktların *in vitro* sindirim sonrası, toplam fenolik ve antosiyaninlerin biyoerişilebilirliği yaklaşık olarak sırasıyla %17 ve %7 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca biyoerişilebilir ekstrakt fraksiyonunun antioksidan kapasitesi CUPRAC yöntemi ile yaklaşık %28 ve DPPH yöntemi ile yaklaşık %0 olarak bulunmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Antioksidan kapasitesi, antosiyaninler, biyoerişilebilirlik, fenolikler, mor şalgam.

## 1. Introduction

Extraction is one of the most important process in the field of food science, since it helps to obtain bioactive molecules to produce functional ingredients. In this context, the main purpose of the extraction process is to maximize the yield of target molecules from food matrices without/with minimal effect on their bioactive or functional properties. Conventional extraction methods with low extraction efficiency such as solid-liquid extraction, maceration and heat reflux possess many disadvantages including intensive usage of organic solvents, and energy, longer time and heating. In addition to these reasons, presence of solvent residues with toxic effects in extracted target compounds cause to develop environment-friendly extraction methods such as ultrasound-assisted extraction, supercritical fluids or microwaves assisted extraction. Moreover, new extraction techniques have been needed to maximize process efficiency (Kulkarni & Rathod, 2014; Tiwari, 2015; Ojha et al., 2020).

The use of ultrasonic waves for the extraction of bioactive compounds from various foods such as fruit, vegetable, grain and cereal has been extensively reported in recent years, mainly since it is an economical, environment-friendly and efficient alternative to conventional extraction techniques (Albero et al., 2019). Ultrasonic waves, used in a range of 20-1000 kHz in ultrasound-assisted extraction (UAE), are spread through target matrices via compression and rarefaction. The scattering of ultrasonic waves into liquid extraction media leads to a negative pressure in the media. Small voids or bubbles form when a soundwave pressure of higher intensities are dispersed through a liquid media. When these voids or bubbles are filled with a gas or water vapour, growth and shrinkage of bubbles occurs until they collapse resulting in cavitation (Ojha et al., 2020). Therefore, ultrasound technology can be used to increase extraction efficiency by disrupting cell tissues in extraction applications of value substances from plant, algae or animal sources (Bakht et al., 2019).

In recent years, many studies have been performed on the ultrasonic treatment of plant materials in order to improve the extraction efficiency and preserve the stability of active compounds such as phenolics, plant pigments since they possess a basic role in determination of plant's bioactive properties such as antioxidant, antihypertensive, antidiabetic, etc. (Jovanović et al., 2017; Đurović et al., 2018; Siewe, Kudre et al., 2020; Sukor et al., 2020; Torić et al., 2020; Yüçetepe et al., 2020). In this context, the stability of phenolic extracts from plants has a big importance in terms of preserving their biofunctional characters.

Anthocyanins, a sub-group of polyphenols, are natural pigments. There are six main anthocyanin compounds named as malvidin, delphinidin, pelargonidin, cyanidin, petunidin, and peonidin derivatives. The factors effected on this classification of anthocyanins are the numbers of sugars, hydroxyl groups and aliphatic or aromatic acid groups and their position in the chemical structure (Park et al., 2016). Anthocyanins with health-promoting effects are responsible for brilliant colours such as red, purple, and orange of most of fruit and vegetable such as turnips, radishes, grapes, berries and red cabbage. On the other hand, they are highly sensitive against environmental conditions including temperature, light, oxygen, etc. (He & Giusti, 2011; Azima et al., 2017; Mansour et al., 2020).

Turnip (*Brassica rapa* L.), which belongs *Brassicaceae* family, is a leaf and root vegetable rich in dietary phenolics and other important phytochemicals such as anthocyanins, carotenoids, glucosinolates, vitamin C, dietary fiber. Turnip vegetables have several varieties with purple pigments characterized as anthocyanins with beneficial health effects. In various studies conducted on pharmacological properties of turnip, it has been proved its antitumor, antihypertensive, antidiabetic, antioxidant, anti-inflammatory, hepatoprotective, and nephroprotective activities (Khoo et al., 2017; Zhuang et al., 2019; Ma et al., 2021).

In previous studies, chemical composition and antioxidant activity of turnip vegetable were investigated by the other groups (Sultana et al., 2008; Noreen et al., 2010; Saeed et al., 2012; Deng et al., 2013; Bhandari et al., 2015; Djenidi et al., 2020). So far, to the best of our knowledge, no research has been conducted on bioaccessibility of polyphenolic extracts from peels of purple turnip (PEPPT) after *in vitro* digestion. Therefore, the aims of the present study were to determine changes in total phenolic content (TPC) and total monomeric anthocyanin contents (TMAC), and total antioxidant capacity (TAC) during *in vitro* digestion.

## 2. Material and Method

### 2.1. Materials

#### 2.1.1. Plant Material

Purple turnips were supplied from a local market of Aksaray province in Turkey. Peels were removed and cut into small pieces using a knife, after the samples were washed with tap water. Afterwards, the peels were lyophilized and were stored at -80 °C immediately until analysis.

#### 2.1.2. Chemicals

Folin Ciocalteu's phenol reagent was purchased from Merck (Merck, Darmstadt, Germany). Hydrochloric acid, sodium hydroxide, ethanol, methanol, formic acid, gallic acid, potassium chloride, sodium bicarbonate, sodium chloride, sodium carbonate, copper (II) chloride solution, 7.5 mM neocuproine solution, ammonium acetate buffer, 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, ( $\pm$ )-6-hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchromane-2-carboxylic acid (Trolox), copper (II) chloride solution, ammonium acetate buffer, potassium dihydrogen phosphate, disodium phosphate, potassium chloride, bile salt,  $\alpha$ -amylase, pepsin, pancreatin were purchased from Sigma-Aldrich (Sigma-Aldrich Chemie, St. Louis, Missouri, USA). All solvents and chemicals used were of analytical grade.

### 2.2. Ultrasonic-Assisted Extraction of Peel Phenolics

The method of Gras et al. (2015) was performed for extraction of polyphenolics from turnip peel with some modifications. An aliquot of 0.5 g of lyophilized samples was mixed with 15 mL methanolic solution (MeOH:H<sub>2</sub>O:CH<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, 80:19:1, v/v). In the present study, 80% aqueous methanol was used as solvent in extraction process since it was reported by Sarwari et al. (2019) that the extraction of plant phenolics is the highest level at this concentration. The UAE was carried out under at 65% amplitude for 15 min in a ultrasonic bath (Kudos LHC ultrasonic cleaners, Kudos, China). During sonication, the samples were cooled in an ice bath to avoid sample heating. After ultrasonic treatment, the extraction process was carried out at 25 °C for 1 h in a shaking water bath (N-Biotek-303, Biotek Co., Ltd.

Korea). Then, the samples were centrifugated at 4,100 rpm and 4 °C for 15 min. The collected supernatants were stored at -20 °C in the dark until analysis. All the experimental results obtained in this work were expressed by the dry weight (dw) of the sample.

### 2.3. *In vitro* Gastro-Intestinal Digestion

The bioaccessibility (%) of the bioaccessible fractions under *in vitro* gastro-intestinal digestion was determined according to the method of Świeca et al. (2013). Firstly, the samples were mixed with 15 mL of a saliva solution, which was prepared with 0.19 g KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, 2.38 g Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>, and 8 g NaCl in 1 L of distilled water, for 10 min 37 °C in the shaking water bath. Afterwards, the pH of the samples was adjusted to 1.2 and 15 mL of gastric solution prepared with the pepsin enzyme in 0.03 M NaCl was added to the mixture and incubated in the shaking water bath for 60 min at 37 °C for the gastric digestion. Then, the pH of the samples was adjusted to 6.0 and they were incubated with pancreatin and 15 mL of bile extract in the shaking water bath for 120 min at 37 °C in the dark. The supernatants were collected after centrifugation process at 6,000 rpm for 15 min and stored immediately -80 °C until analysis. The formula of bioaccessibility (%) was shown below:

$$\text{Bioaccessibility (\%)} = \frac{A}{B} \times 100$$

Where A is TPC, TMAC and TAC determined after *in vitro* gastro-intestinal digestion; B is TPC, TMAC and TAC determined before *in vitro* gastro-intestinal digestion.

### 2.4 Determination of Total Phenolic Content

Folin-Ciocalteu method was performed to determine the TPC of the extracts (Toor & Savage, 2006). Briefly, 200 µl of the extracts, 1.5 mL from 10 fold diluted Folin-Ciocalteu reagent and 1.2 mL of aqueous 7.5% Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> were mixed and this mixture was stood at room temperature in the dark for 90 min. The absorbance values of the samples were measured at 765 nm using an UV spectrophotometer (Scilogex Sci-UV1000 Spectrophotometer, Scilogex, USA). The results are given as milligrams per gram of gallic acid equivalents (mg GAE/g dw).

### 2.5 Total Monomeric Anthocyanin Content

Total monomeric anthocyanin content of PEPPT was determined using the pH differential method (Hanlon & Barnes, 2011). The absorbance of samples was measured at 520 nm and 700 nm at 0.025 M KCl (pH 1.0) and 0.4 M CH<sub>3</sub>CO<sub>2</sub>Na (pH 4.5) buffer solutions using the UV spectrophotometer and calculated by the equation given below:

$$\text{TMAC} \left( \frac{\text{mg}}{\text{kg}} \right) = \frac{A \times \text{MW} \times \text{DF} \times 10^3}{\epsilon \times L}$$

Where A= (A<sub>520</sub> - A<sub>700</sub>)<sub>pH 1.0</sub> - (A<sub>520</sub> - A<sub>700</sub>)<sub>pH 4.5</sub>, MW: The molecular weight of cyanidin-3-O-glucoside (449.2 g/mol), DF: The dilution factor, ε: The molar extinction coefficient of cyanidin-3-O-glucoside (26,900 L/cm.mol) and L: The path length (1 cm). Total anthocyanin concentration was calculated as cyanidin-3-glucoside equivalent.

### 2.6. Evaluation of Total Antioxidant Capacity

#### 2.6.1 The Cupric Reducing Antioxidant Capacity (CUPRAC) Method

The CUPRAC assay was performed to determine antioxidant capacity of the samples (Apak et al., 2004). Briefly, 100 µL of sample extract was mixed with 1 mL each of 0.1 mM copper (II) chloride solution, 7.5 mM neocuproine solution, ammonium acetate buffer solution (pH 7.0), and distilled water. The mixture was incubated at room temperature for 30 min. Then, the absorbance of the mixture was measured at 450 nm using the UV spectrophotometer. Trolox was used as a reference compound and results were expressed as mg Trolox equivalents (mg TE/g dw).

#### 2.6.2 The 1,1-Diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) Free Radical Scavenging Method

The DPPH assay was carried out according to the method of Kumaran and Karunakaran (2006). Briefly, 100 µL of sample extract was mixed with 2 mL of 0.1mM DPPH in methanol. The mixture was left to stand for 30 min in dark at room temperature. Then, the absorbance of the mixture was read at 517 nm using the UV spectrophotometer. The results were expressed as mg TE/g dw.

### 2.7. Statistical Analysis

Experimental data was showed as mean±standard deviation (SD). The data was analysed using a statistical package (Minitab, Version 17, Minitab Inc., State College, Pennsylvania, USA). The differences between mean values were compared using Tukey test. Differences at p≤ 0.05 were considered to be significant.

## 3. Results and Discussion

### 3.1 Changes in TPC and TMAC of The Extracts During *in vitro* Digestion

To detect the effects of *in vitro* digestion on the TPC, TMAC and TAC values of the undigested and digested PEPPT were determined and showed in Table 1. According to the results of the analysis, TPC and TMAC were 169.29±6.89 mg GAE/g dw and 159.53±10.82 mg CGE/L for the undigested samples, respectively. The TMAC of the extracts decreased both gastric and intestinal digestion phases (p<0.05), while TPC of the sample decreased only gastric stage (p<0.05) during *in vitro* digestion. The decrease of TPC and TMAC may arise from the partial degradation of some phenolic compounds during *in vitro* digestion (Ma et al., 2020). So far, there have not been enough scientific information in the literature on the *in vitro* digestion of purple turnip phytochemicals. Therefore comparisons were carried out using the data from other vegetables/plants, which belong to the *Brassicaceae* family. According to the study of Park et al. (2016), three radish cultivars were compared in terms of anthocyanin and total phenolic contents. Among them, the cultivar ManTang Hong contained the highest total anthocyanins in dry weight (1.89 mg/g). In another study, TMACs for broccoli, kale, mustard, radish from the *Brassicaceae* family were determined as 1.39, 5.57, 12.66, 36.40 mg/100 g dw, respectively. Additionally, the authors reported that TMAC was not detected in any samples after *in vitro* digestion process (de la Fuente et al., 2019). On the other hand, Sarwari et al. (2019) investigated TPC (59.41 mg GAE/g dw) of peel extracts from turnip. According to Goyeneche et al. (2015), TPC of methanolic extracts from leaves of red radish was 6.95 mg GAE/g dw. Similarly, in Pajak et al. (2014)'s study, TPC of methanolic extracts of radish sprouts was found as approximately 12 mg GAE/g dw. In these studies, ultrasound treatment was performed during extraction and this may be a reason of lower phenolic content in extracts than our

findings, because ultrasonic waves may cause an increase in the extraction of valuable compounds from plant tissues by disrupting cell during extraction (Bakht et al., 2019). Similarly, Golmohamadi (2013) determined the increase in total phenolics at 986 kHz during sonication and they explained that ultrasonic waves and increase in temperature can facilitate migration of phenolics from the red raspberry fruit to extraction media.

Total phenolic content and *in vitro* antioxidant activity of several vegetables from *Brassicaceae* family were investigated by Xiao et al. (2019). These authors determined TPCs ranged from 26.48 and 15.97 mg GAE/g fresh weight for red radish and turnip, respectively. Similar to their study, de la Fuente et al. (2019) reported that TPCs of broccoli, kale, mustard and radish microgreens were 20.37, 24.16, 18.90 and 21.11 mg GAE/g dw, respectively. Moreover, TPC was determined as 27.99, 34.61, 30.27, 47.36 mg GAE/g dw by Tomas et al. (2021) for kale, red cabbage, kohlbary and purple radish, respectively. However, TPC of PEPT in the present study is not comparable with these values reported in previous works, because TPC of all parts of the vegetables such as peel and pulp was investigated in these studies. However, TPC of the polyphenolic extract of peels from purple turnip was determined in our study. Therefore, the TPC was found in higher amount than those found in these studies mentioned above, since phenolic and anthocyanin accumulate in the peels of fruits and vegetables.

### 3.2 Changes in TAC of The Extracts During *in vitro* Digestion

Antioxidant activity of the samples before *in vitro* digestion was detected as 44.19±0.10 mg TE/g by CUPRAC assay and 38.52±0.06 mg TE/g by DPPH assay. Similarly, in the study of Tomas et al., (2021) TAC of kale, red cabbage, kohlbary and purple radish from *Brassicaceae* family was found as 44.17 52.13, 44.48, 66.94 mg TE/g dw by CUPRAC assay, respectively. The TAC by DPPH method ranged from 17.24 to 22.73 mg TE/g dw for same plants (Tomas et al., 2021). In a study on several vegetables from *Brassicaceae*, TAC values obtained from DPPH method were 15.31 and 9.42 mg TE/g dw for red cabbage and radish, respectively (Xiao et al., 2019). It is generally known that plant containing higher level of TPC shows superior antioxidant activities (Chel-Guerrero et al. 2018).

In our study, the CUPRAC values of the extracts decreased after only *in vitro* gastric digestion ( $p<0.05$ ) while the DPPH values decreased after both *in vitro* gastric and intestinal digestions ( $p<0.05$ ). Similarly, DPPH values decreased after *in vitro* digestion of edible flowers and some vegetables in Puangkam et al. (2017) and Chen et al. (2015)'s studies, respectively. As a reason of this decrease, it can be hypothesized that biological reactivity of antioxidant compounds can alter during *in vitro* digestion and they may be less reactive at pH ~7.4 in intestinal digestion. Moreover, similar results were reported for some fruits and vegetables in the other studies, as well (Vinholes et al., 2018; Goulas and Hadjisolomou, 2019; Tomas et al., 2021). The decrease in TAC was observed with both methods after *in vitro* gastro-intestinal digestion, may be related to the reduction in bioactive antioxidant compounds such as total phenolics and total anthocyanins (de la Fuente et al. (2019). The presence of bile salts

and complexity of the food matrix and the changes in pH in gastric and intestine fluids could be responsible to decrease of antioxidant activity of polyphenols (Tagliazucchi et al., 2010). In contrast to the present study, the study of Chandrasekara and Shahidi (2012) showed an increase in TPC and TAC of grain samples after *in vitro* gastro-intestinal digestion, because the low pH (2.0) that could improve the release of phenolics by breaking their binding with food matrix (Chandrasekara and Shahidi, 2012). These differences among the previous studies could be attributed to the different samples used and the compounds formed after *in vitro* digestion, which can react with substrates and free radicals depending on each antioxidant assay and the food matrix.

### 3.3. The Bioaccessibility (%) of TPC, TMAC and TAC During *in vitro* Digestion

The bioaccessibility of TPC and TMAC was found to be 17.03±0.07% and 6.16±0.52%, after *in vitro* gastro-intestinal digestion, respectively ( $p<0.05$ , Figure 1). Moreover, TAC of the bioaccessible fraction was determined to be 27.57±0.48% in CUPRAC assay and to be 0.51±0.39% in DPPH assay. The bioaccessibility of TPC, TMAC and TAC by DPPH assay was significantly lower ( $p<0.05$ ) in both gastric and intestinal phases. Additionally, the bioaccessibility (%) of total antioxidant capacity was significantly lower ( $p<0.05$ ) in gastric phase than intestine phase in terms of CUPRAC assay. On the other hand, the bioaccessibility (%) of total antioxidant capacity was significantly lower ( $p<0.05$ ) in both gastric and intestinal phases in terms of DPPH assay. Between the CUPRAC and DPPH assays, the highest TAC values were monitored by CUPRAC assay after *in vitro* digestion. According to Apak et al. (2013), the reason of obtaining higher bioaccessibility values by CUPRAC assay than DPPH assay after *in vitro* digestion process could arise from the selectivity and stability of CUPRAC assay (Apak et al., 2013). In addition, *in vitro* antioxidant tests are incapable of revealing of all antioxidant potentials available in the sample analyzed could be the reason of the discrepancy between CUPRAC and DPPH assays (Tomas et al., 2021).

Similarly, in a study carried out by de la Fuente et al., the TPC, TMAC and TAC of the bioaccessible fractions of *Brassicaceae* plants including broccoli, kale, mustard and radish decreased after *in vitro* digestion (de la Fuente et al., 2019). Moreover, Yucetepe et al. (2021) reported decreases in TPC (approximately 5%) and TAC (6% in CUPRAC and 36% in DPPH) of the extracts from black radish peel ( $p<0.05$ ) after *in vitro* digestion. These decreases in both *in vitro* gastric and intestinal digestions may be related to the pH and the presence of other compounds in food and enzymes, causing irreversible changes in the chemistry and physical state of polyphenols (Yucetepe, et al., 2021, Tomas et al., 2021).

Table 1. Total phenolic content, total monomeric anthocyanin content, total antioxidant capacities of the digested and undigested samples.

Analysis	Initial	Gastric phase	Intestinal phase
TPC (mg GAE/g dw)	169.29±6.89 <sup>a</sup>	39.47±2.71 <sup>b</sup>	28.83±0.17 <sup>b</sup>
TMAC (mg CGE/L)	159.53±10.82 <sup>a</sup>	15.82±0.11 <sup>b</sup>	9.77±0.17 <sup>c</sup>
CUPRAC (mg TE/g dw)	44.19±0.10 <sup>a</sup>	12.64±0.08 <sup>b</sup>	12.25±0.21 <sup>b</sup>
DPPH (mg TE/g dw)	38.52±0.06 <sup>a</sup>	26.67±0.60 <sup>b</sup>	0.51±0.39 <sup>c</sup>

All the values were expressed as means±standard deviation. The mean is an average of three samples ( $n = 3$ ) obtained from the triplicated experiments. Different superscripts letters within the same line indicate significant difference ( $p < 0.05$ , Tukey).

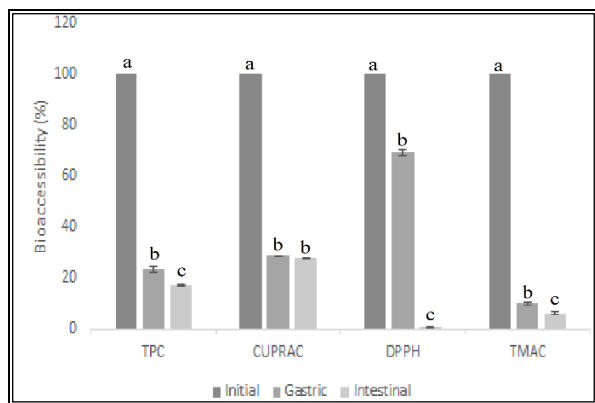


Figure 1. The bioaccessibility (%) of polyphenolic extracts from purple turnip peel waste, in terms of total phenolic content (TPC), total monomeric content (TMAC) and TAC (CUPRAC and DPPH methods) in post-gastric and post-intestine phases.

#### 4. Conclusions and Recommendations

In this work, the potency of peel extracts from the purple turnip was revealed as a natural antioxidant with health-promoting effects arising from bioactive compounds such as phenolics and anthocyanins. The bioaccessibility of the phenolic and anthocyanin fractions and their total antioxidant capacity after *in vitro* digestion are provided for the first time. According to our results, the purple turnip exhibited higher amount of total phenolics and total monomeric anthocyanins than other *Brassicaceae* vegetables. On the contrary, it had similar antioxidant capacity compared to the *Brassicaceae* vegetables. In fact, although the predicted decrease in bioactive compounds such as phenolics and anthocyanins after *in vitro* digestion process, total antioxidant capacity (by CUPRAC assay) of these fractions could be protected at the level of approximately 28%. However, more studies are needed to determine the total antioxidant capacity in the gastrointestinal tract by using other assays such as ABTS, ORAC, FRAP. Therefore, in further studies, increasing the bioaccessibility of the antioxidant compounds after *in vitro* digestion through new strategies such as encapsulation and determining their potential bioactivity in animal studies should be addressed.

#### References

Albero, B., Tadeo, J. L., & Pérez, R. A. (2019). Ultrasound-assisted extraction of organic contaminants. *Trends in Analytical Chemistry*, 118, 739-750.

Ali, H., Houghton, P., & Soumyanath, A. (2006).  $\alpha$ -Amylase inhibitory activity of some Malaysian plants used to treat diabetes; with particular reference to *Phyllanthus amarus*. *Journal of ethnopharmacology*, 107(3), 449-455.

Apak, R., Güçlü, K., Özyürek, M., & Karademir, S. E. (2004). Novel total antioxidant capacity index for dietary polyphenols and vitamins C and E, using their cupric ion reducing capability in

the presence of neocuproine: CUPRAC method. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(26), 7970-7981. Doi: 10.1021/jf048741x

Apak, R., Gorinstein, S., Böhme, V., Schaich, K. M., Özyürek, M., & Güçlü, K. (2013). Methods of measurement and evaluation of natural antioxidant capacity/activity (IUPAC technical report). *Pure and Applied Chemistry*, 85(5), 957-998.

Azam, A., Khan, I., Mahmood, A., & Hameed, A. (2013). Yield, chemical composition and nutritional quality responses of carrot, radish and turnip to elevated atmospheric carbon dioxide. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93(13), 3237-3244.

Azima, A. S., Noriham, A., & Manshoor, N. (2017). Phenolics, antioxidants and color properties of aqueous pigmented plant extracts: *Ardisia colorata* var. *elliptica*, *Clitoria ternatea*, *Garcinia mangostana* and *Syzygium cumini*. *Journal of Functional Foods*, 38, 232-241.

Bakht, M. A., Geesi, M. H., Riadi, Y., Imran, M., Ali, M. I., Ahsan, M. J., & Ajmal, N. (2019). Ultrasound-assisted extraction of some branded tea: Optimization based on polyphenol content, antioxidant potential and thermodynamic study. *Saudi journal of biological sciences*, 26(5), 1043-1052.

Banihani, S. A. (2017). Radish (*Raphanus sativus*) and diabetes. *Nutrients*, 9(9), 1014.

Barillari, J., Cervellati, R., Costa, S., Guerra, M. C., Speroni, E., Utan, A., & Iori, R. (2006). Antioxidant and choleric properties of *Raphanus sativus* L. sprout (Kaiware Daikon) extract. *Journal of agricultural and food chemistry*, 54(26), 9773-9778.

Chandrasekara, A., & Shahidi, F. (2012). Bioaccessibility and antioxidant potential of millet grain phenolics as affected by simulated *in vitro* digestion and microbial fermentation. *Journal of Functional Foods*, 4(1), 226-237.

Chel-Guerrero, L. D., Sauri-Duch, E., Frago-Serrano, M. C., Pérez-Flores, L. J., Gómez-Olivares, J. L., Salinas-Arreortua, N., ... & Mendoza-Espinoza, J. A. (2018). Phytochemical profile, toxicity, and pharmacological potential of peels from four species of tropical fruits. *Journal of medicinal food*, 21(7), 734-743.

Chen, G. L., Chen, S. G., Xie, Y. Q., Chen, F., Zhao, Y. Y., Luo, C. X., & Gao, Y. Q. (2015). Total phenolic, flavonoid and antioxidant activity of 23 edible flowers subjected to *in vitro* digestion. *Journal of Functional Foods*, 17, 243-259.

de la Fuente, B., López-García, G., Mªnez, V., Alegría, A., Barberá, R., & Cilla, A. (2019). Evaluation of the bioaccessibility of antioxidant bioactive compounds and minerals of four genotypes of *Brassicaceae* microgreens. *Foods*, 8(7), 250.

Durović, S., Nikolić, B., Luković, N., Jovanović, J., Stefanović, A., Šekuljica, N., ... Knežević-Jugović, Z. (2018). The impact of high-power ultrasound and microwave on the phenolic acid profile and antioxidant activity of the extract from yellow soybean seeds. *Industrial Crops and Products*, 122, 223-231.

Golmohamadi, A., Möller, G., Powers, J., & Nindo, C. (2013). Effect of ultrasound frequency on antioxidant activity, total phenolic and anthocyanin content of red raspberry puree. *Ultrasonics sonochemistry*, 20(5), 1316-1323.

Goulas, V., & Hadjisolomou, A. (2019). Dynamic changes in targeted phenolic compounds and antioxidant potency of carob fruit

- (*Ceratonia siliqua* L.) products during in vitro digestion. *LWT*, 101, 269-275.
- Goyeneche, R., Roura, S., Ponce, A., Vega-Gálvez, A., Quispe-Fuentes, I., Uribe, E., & Di Scala, K. (2015). Chemical characterization and antioxidant capacity of red radish (*Raphanus sativus* L.) leaves and roots. *Journal of Functional Foods*, 16, 256-264.
- Gras, C.C., Carle, R., Schweiggert, R.M. 2017. Determination of anthocyanins from black carrots by UHPLC-PDA after ultrasound-assisted extraction, *Journal of Food Composition and Analysis*, 44, 170-177.
- Hanlon, P. R., & Barnes, D. M. (2011). Phytochemical composition and biological activity of 8 varieties of radish (*Raphanus sativus* L.) sprouts and mature taproots. *Journal of Food Science*, 76(1), C185-C192.
- Hanlon, P. R., Robbins, M. G., Hammon, L. D., & Barnes, D. M. (2009). Aqueous extract from the vegetative portion of Spanish black radish (*Raphanus sativus* L. var. *niger*) induces detoxification enzyme expression in HepG2 cells. *Journal of functional foods*, 1(4), 356-365.
- He, J., & Giusti, M. M. (2011). High-purity isolation of anthocyanins mixtures from fruits and vegetables—A novel solid-phase extraction method using mixed mode cation-exchange chromatography. *Journal of Chromatography A*, 1218(44), 7914-7922.
- Helrich, K. (1990). Official Methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists.
- Jiang, W., & Zhou, X. (2019). Hydrolysis of radish anthocyanins to enhance the antioxidant and antiproliferative capacities. *Food Chemistry*, 294, 477-485.
- Jovanović, A. A., Đorđević, V. B., Zdunić, G. M., Pljevljakušić, D. S., Šavikin, K. P., Godevac, D. M., & Bugarski, B. M. (2017). Optimization of the extraction process of polyphenols from *Thymus serpyllum* L. herb using maceration, heat-and ultrasound-assisted techniques. *Separation and Purification Technology*, 179, 369-380.
- Kazeem, M., Adamson, J., & Ogunwande, I. (2013). Modes of inhibition of  $\alpha$ -amylase and  $\alpha$ -glucosidase by aqueous extract of *Morinda lucida* Benth leaf. *BioMed research international*, 2013.
- Kjeldahl, C. (1883). A new method for the determination of nitrogen in organic matter. *Z Anal Chem*, 22, 366.
- Kulkarni, V. M., & Rathod, V. K. (2014). Mapping of an ultrasonic bath for ultrasound assisted extraction of mangiferin from *Mangifera indica* leaves. *Ultrasonics sonochemistry*, 21(2), 606-611.
- Kumaran, A., & Karunakaran, R. J. (2006). Anti-oxidant activity of polyphenols from *Phyllanthus debilis* Klein ex Willd. *Journal of Natural remedies*, 6(2), 141-146.
- Ma, Y., Yang, Y., Gao, J., Feng, J., Shang, Y., & Wei, Z. (2020). Phenolics and antioxidant activity of bamboo leaves soup as affected by in vitro digestion. *Food and Chemical Toxicology*, 135, 110941.
- Mansour, M., Salah, M., & Xu, X. (2020). Effect of microencapsulation using soy protein isolate and gum arabic as wall material on red raspberry anthocyanin stability, characterization, and simulated gastrointestinal conditions. *Ultrasonics sonochemistry*, 63, 104927.
- Ojha, K. S., Aznar, R., O'Donnell, C., & Tiwari, B. K. (2020). Ultrasound technology for the extraction of biologically active molecules from plant, animal and marine sources. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 122, 115663.
- Pająk, P., Socha, R., Gałkowska, D., Rożnowski, J., & Fortuna, T. (2014). Phenolic profile and antioxidant activity in selected seeds and sprouts. *Food Chemistry*, 143, 300-306.
- Park, C. H., Baskar, T. B., Park, S. Y., Kim, S. J., Valan Arasu, M., Al-Dhabi, N. A., ... & Park, S. U. (2016). Metabolic profiling and antioxidant assay of metabolites from three radish cultivars (*Raphanus sativus*). *Molecules*, 21(2), 157.
- Puangkam, K., Muanghorm, W., & Konsue, N. (2017). Stability of bioactive compounds and antioxidant activity of Thai cruciferous vegetables during in vitro digestion. *Current Research in Nutrition and Food Science Journal*, 5(2), 100-108.
- Salah-Abbès, J. B., Abbès, S., Houas, Z., Abdel-Wahhab, M. A., & Oueslati, R. (2008). Zearalenone induces immunotoxicity in mice: possible protective effects of radish extract (*Raphanus sativus*). *Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 60(6), 761-770.
- Sarwari, G., Sultana, B., Sarfraz, R. A., & Zia, M. A. (2019). Cytotoxicity, antioxidant and antimutagenic potential evaluation of peels of edible roots and tubers. *International Food Research Journal*, 26(6).
- Siewe, F. B., Kudre, T. G., & Narayan, B. (2020). Optimisation of ultrasound-assisted enzymatic extraction conditions of umami compounds from fish by-products using the combination of fractional factorial design and central composite design. *Food Chemistry*, 334, 127498.
- Sukor, N., Jusoh, R., Kamarudin, N., Halim, N. A., Sulaiman, A., & Abdullah, S. (2020). Synergistic effect of probe sonication and ionic liquid for extraction of phenolic acids from oak galls. *Ultrasonics sonochemistry*, 62, 104876.
- Świeca, M., Gawlik-Dziki, U., Dziki, D., Baraniak, B., & Czyż, J. (2013). The influence of protein-flavonoid interactions on protein digestibility in vitro and the antioxidant quality of breads enriched with onion skin. *Food Chemistry*, 141(1), 451-458.
- Tagliacozzi, D., Verzelloni, E., Bertolini, D., & Conte, A. (2010). In vitro bio-accessibility and antioxidant activity of grape polyphenols. *Food Chemistry*, 120(2), 599-606.
- Tiwari, B. K. (2015). Ultrasound: A clean, green extraction technology. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 71, 100-109.
- Toor, R. K., & Savage, G. P. (2006). Effect of semi-drying on the antioxidant components of tomatoes. *Food Chemistry*, 94(1), 90-97.
- Tomas, M., Zhang, L., Zengin, G., Rocchetti, G., Capanoglu, E., & Lucini, L. (2021). Metabolomic insight into the profile, in vitro bioaccessibility and bioactive properties of polyphenols and glucosinolates from four Brassicaceae microgreens. *Food Research International*, 140, 110039.
- Torić, J., Brozovic, A., Baus Lončar, M., Jakobušić Brala, C., Karković Marković, A., Benčić, Đ., & Barbarić, M. (2020). Biological Activity of Phenolic Compounds in Extra Virgin Olive Oils through Their Phenolic Profile and Their Combination with Anticancer Drugs Observed in Human Cervical Carcinoma and Colon Adenocarcinoma Cells. *Antioxidants*, 9(5), 453.
- Vinholes, J., Reis, S. F., Lemos, G., Barbieri, R. L., de Freitas, V., Franzon, R. C., & Vizzotto, M. (2018). Effect of in vitro digestion on the functional properties of *Psidium cattleianum* Sabine (araçá), *Butia odorata* (Barb. Rodr.) Noblick (butiá) and *Eugenia uniflora* L. (pitanga) fruit extracts. *Food & function*, 9(12), 6380-6390.
- Xiao, Z., Rausch, S. R., Luo, Y., Sun, J., Yu, L., Wang, Q., ... & Stommel, J. R. (2019). Microgreens of Brassicaceae: Genetic diversity of phytochemical concentrations and antioxidant capacity. *LWT*, 101, 731-737.
- Yüce-tepe, A., Altın, G., & Özçelik, B. (2021). A novel antioxidant source: evaluation of in vitro bioaccessibility, antioxidant activity and polyphenol profile of phenolic extract from black radish peel wastes (*Raphanus sativus* L. var. *niger*) during simulated gastrointestinal digestion. *International Journal of Food Science & Technology*, 56(3), 1376-1384.





# Yüksek Fırın Cürufu ile Stabilize Edilmiş Killi Bir Zeminin Rijit Kaplama Kalınlığı ve Maliyetine Etkileri

Tacettin Geçkil<sup>1</sup>, Mehmet Mahmut Tanyıldız<sup>2\*</sup>, Ceren Beyza İnce<sup>3</sup>, Ekrem Serdar Yıldırım<sup>4</sup>

<sup>1\*</sup> İnönü Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Malatya, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-8070-6836), [tacettin.geckil@inonu.edu.tr](mailto:tacettin.geckil@inonu.edu.tr)

<sup>2\*</sup> İnönü Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Malatya, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-5992-2665), [mmtanyildizi@hotmail.com](mailto:mmtanyildizi@hotmail.com)

<sup>3</sup> İnönü Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Malatya, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-6385-0964), [c.beyzaince@gmail.com](mailto:c.beyzaince@gmail.com)

<sup>4</sup> Togi Metal İnş. San. Tic. Ltd. Şti., Malatya, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-8678-5544)

(İlk Geliş Tarihi 5 Mayıs 2021 ve Kabul Tarihi 7 Ağustos 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.932204)

**ATIF/REFERENCE:** Geçkil, T., Tanyıldız, M. M., İnce, C. B. & Yıldırım, E. S. (2021). Yüksek Fırın Cürufu ile Stabilize Edilmiş Killi Bir Zeminin Rijit Kaplama Kalınlığı ve Maliyetine Etkileri. *European Journal of Science and Technology*, (27), 158-170.

## Öz

Günümüzde önemli çevre sorunlarına neden olan kömür kaynaklı atık yüksek fırın cürufunun (YFC) inşaat sektöründe, özellikle şehir içi yollarda, havaalanı pistlerinde, otopark sahalarında, terminalerde ve beton üretiminde pozolan malzeme olarak kullanılması ve bertaraf edilmesi konusu son zamanlarda önemli bir hale gelmiştir. Bu çalışmada, atık YFC ile stabilize edilmiş taşıma gücü zayıf killi bir zeminin rijit yol üstü yapısı kaplama kalınlığı ve maliyetine etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla kil zemine ağırlıkça %0, 5, 10, 15 ve 20 oranlarında atık YFC ilave edilerek stabilize karışım numuneleri hazırlanmıştır. Saf ve stabilize numuneler standart proktor, serbest basınç ve kaliforniya taşıma oranı (CBR) deneylerine tabi tutularak fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir. Deneyler neticesinde, en yüksek dayanımın elde edildiği stabilize karışım numunesinin YFC oranı (%20 YFC) tespit edilmiştir. Bu oran dikkate alınarak, AASHTO 1993 yöntemi ile saf ve YFC katkılı kil zemin üzerine inşa edilecek rijit üstü yapısı tabaka kalınlıkları ve maliyetlerinin hesabı yapılmıştır. Çalışmada, saf ve %20 YFC katkılı killi zeminler için kaplama kalınlıkları ve maliyetleri karşılaştırılarak, beton yol kaplamalarının ekonomik değerlendirilmesi yapılmıştır. Bu amaçla çalışmada, farklı eşdeğer tek dingil yük tekrerrü sayıları (proje trafiği,  $W_{8,2}$ ),  $75 \times 10^6$ ,  $100 \times 10^6$ ,  $125 \times 10^6$  ve  $150 \times 10^6$  alınarak saf kil zemin için rijit üstü yapısı kalınlıkları sırasıyla 31,90 cm, 33,35 cm, 34,54 cm ve 35,53 cm; %20 YFC katkılı killi zemin için ise sırasıyla 28,83 cm, 30,38 cm, 31,55 cm ve 32,56 cm olarak belirlenmiştir. Kabul edilen trafik değerleri için elde edilen bu kalınlıklara göre 1000 m uzunluğunda ve 20 m genişliğindeki bir yolun %20 YFC katkılı killi zemin için rijit üstü yapısı maliyetinin saf killi zemine kıyasla sırasıyla %9,63, %8,91, %8,68 ve %8,36 daha ekonomik olduğu tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Kil zemin, yüksek fırın cürufu (YFC), zemin stabilizasyonu, rijit üstü yapısı, AASHTO metodu

## Effects of a Clayey Soil Stabilized with Blast Furnace Slag on Rigid Pavement Thickness and Cost

### Abstract

The use and disposal of coal-sourced blast furnace slag (BFS), which causes significant environmental problems today, as a pozzolan material in the construction industry, especially in urban roads, airport runways, parking lots, terminals and concrete production, has recently become important. In this study, the effects of a clay-bearing soil stabilized with waste BFS on rigid road pavement covering thickness and cost were investigated. For this purpose, stabilized mixture samples were prepared by adding 0, 5, 10, 15 and 20% waste BFS to the clay soil. Pure and stabilized samples were subjected to standard proctor, unconfined compression and california bearing ratio (CBR) tests to determine their physical and mechanical properties. As a result of the experiments, the BFS ratio (20% BFS) of the stabilized mixture sample with the highest strength was determined. Taking into account his ratio, the thickness and costs of the rigid pavement layer to be constructed on pure and BFS-added clay soil were calculated with the AASHTO 1993 method. In the study, the economical evaluation of concrete road pavements was made by comparing the pavement thickness and cost for the pure and the clay soils with 20% BFS. In the study, different equivalent single axle load repetition numbers (project traffic,  $W_{8,2}$ ),  $75 \times 10^6$ ,  $100 \times 10^6$ ,  $125 \times 10^6$  and  $150 \times 10^6$ , rigid pavement thicknesses for pure clay soil 31.90 cm, 33.35 cm, 34.54 cm and 35.53 cm respectively; for clayey soils with 20% BFS added, it was determined as 28.83 cm, 30.38 cm, 31.55 cm and 32.56 cm respectively. According to these thicknesses obtained for the accepted traffic values, compared to the pure clay soil of the rigid pavement cost for 20% BFS additive clay soil of a 1000 m long and 20 m wide road. 9.63%, 8.91%, 8.68% and 8.36%, respectively, have been found to be more economical.

**Keywords:** Clay soil, blast furnace slag (BFS), soil stabilization, rigid pavement, AASHTO method.

\* Corresponding Author: [mmtanyildizi@hotmail.com](mailto:mmtanyildizi@hotmail.com)

## 1. Giriş

Karayolu üstyapıları, çeşitli trafik yüklerine ve çevresel koşullara maruz kalan alttemel, temel ve kaplama gibi tabakalarından oluşan tabakalı yapılardır. Üstyapılar, trafik yükleri ve çevresel koşulların etkisi altında gösterdikleri davranış ve oluşturdukları malzemeye bağlı olarak esnek ve rijit üstyapılar olmak üzere iki ana gruba ayrılırlar. Kaplama inşasında bağlayıcı olarak asfalt kullanılan yapılar esnek, portland çimentosu kullanılan yapılara ise rijit (beton) yol olarak adlandırılmaktadır (Tunç, 2001). Beton yollarda, trafik yüklerini daha geniş bir alana yayarak tabana iletmek, tabanda ve kaplama üzerinde deformasyon oluşmasını engellemek kaplamanın görevidir (Karayolları Beton Yol Üstyapılar Projelendirme Rehberi, 2019).

Beton yollar, genel olarak üstyapı taban zemini üzerine inşa edilen portland çimentolu beton plaktan ve üstyapı tabanı ile beton kaplama arasına yerleştirilen temel/alttemel/seçme malzeme tabakalarından oluşmaktadır. Standart dingil yükü sayısı (proje trafiği)  $60-75 \times 10^6$ 'dan fazla olan veya tek yöndeki günlük ticari taşıt sayısı 5.000'den fazla olan yollarda beton kaplama yapılması öngörülmektedir. Proje trafiği yüksek bu rijit üstyapıların tasarımında ki amaç; baz alınan hizmet (tasarım) ömrü süresince kaplama üzerinden geçecek trafiği, güvenli bir şekilde taşıırken büyük deformasyonlara maruz kalmayacak şekilde beton plak kalınlığının hesap edilmesi ve üstyapıda kullanılacak malzemelerin özelliklerinin belirlenmesidir (Karayolları beton yol üstyapılar projelendirme rehberi, 2019; Bayrak, 2007).

Günümüzde, karayolu beton yol üstyapılarının inşa edileceği bölgelerde, yoğun trafik yükü altında çatlama ve deformasyon gösterebilecek taşıma gücü zayıf taban zeminlerine muhtelif katkı maddeleri ilave edilerek zeminlerin mukavemeti artırılmakta ve üstyapının taşıma gücü sağlam bir taban zeminin üzerine oturmasını sağlamaktadır. Bu maksatla, zayıf taşıma gücüne sahip zeminlerin dayanımlarını arttırmak için fiziksel, mekanik ve kimyasal olmak üzere birçok yöntem kullanılarak zeminlerin dayanımları arttırılmaya çalışılmaktadır (Tunç, 2001). Bu amaçla genellikle tercih edilen yöntem, zemine katkı maddesi ilave edilerek dayanımında iyileşme sağlamaktır. Bu amaçla çimento, uçucu kül, kireç, YFC vb. gibi katkılar, zeminlerin dayanımlarının iyileştirilmesinde kullanılan başlıca katkı maddeleridir. Bu katkı maddelerinin kullanılması ile zeminlerin durabilite, permeabilite, stabilite ve sıkışabilirlik gibi özelliklerinde iyileşme sağlanabildiği görülmüştür. Ayrıca, bu katkı maddelerinin maliyetlerinin uygun olması ve kolaylıkla temin edilebilmesi, zemin iyileştirilmesinde veya stabilizasyonunda kullanılmasını tercih sebebi haline getirmiştir (Çakılcıoğlu, 2007; Hausman, 1990; Kılıç, 2008). Karayolu rijit üstyapı yol yapım çalışmalarında; yağışlar, yeraltı suyu vb. gibi nedenlerle şişme, ıslanma ile çökme davranışı (hidro-sıkışma) gösteren ve sıvılaşıma potansiyeli yüksek killi zeminler, çeşitli atık katkı maddeleri kullanılarak stabilize edilmekte ve taşıma gücü yüksek zeminler elde edilmektedir (Emery, Kim ve Cotsworth 1976).

Günümüzde gelişen teknoloji ile artan nüfusun bir neticesi olarak ortaya çıkan atıkların bertarafında karşılaşılan problemler göz ardı edilemeyecek boyutlara ulaşmıştır. Bu nedenle, sanayi atıklarının bertarafı oldukça önem kazanmıştır. Bu amaçla, zemin iyileştirme ve dolgu malzemesi gibi farklı inşaat mühendisliği uygulamalarında çeşitli atık malzemelerin kullanımı oldukça yaygınlaşmıştır. Bu sayede, çevresel kirliliğe neden olan atık

malzemelerin yeniden kullanım ve geri dönüşümü sağlanmış olacağı gibi, ekonomi ve enerjiden de kazanç elde edilecektir (Huang, 2017; Gökalp, 2018; Gurer, Akbulut ve Kurklu 2004; Aruntaş, 2006; Kodikara, Yeo 2005).

Bu çalışmada, atık YFC kullanılarak stabilize edilmiş killi bir zeminin fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenerek daha önce literatürde çalışılmamış olan rijit yol üstyapı kalınlık ve maliyetine etkileri araştırılmıştır.

Demir-çelik üretimi sırasında bir yan ürün olarak ortaya çıkan YFC, karayolu mühendisliğinde yol kaplaması, alttemel, temel, zemin iyileştirme ve dolgu malzemesi gibi çeşitli mühendislik uygulamalarında kullanılmaktadır. YFC'nin yapısı %95'i silika, kalsiyum, alüminyum, magnezyum ve oksijen gibi elementlerden oluşmaktadır (Yılmaz, 2013; Tokyay, Erdoğan, 2002; ACI, 2005). Bu özelliklere sahip bir yan ürün olarak elde edilen YFC'nin, zayıf zeminlerin dayanımlarının artırılması amacıyla kullanılması, hem zeminin taşıma gücü, hem atıkların bertaraf edilmesi ve hem de ekonomik kazanç bakımından fayda sağlayacağı düşünülmektedir (ACI, 2005).

Günümüzde, YFC kullanılarak yapılan zemin iyileştirme çalışmalarında olumlu sonuçlar elde edilmiştir. Yapılan çalışmalarda, YFC'nin kil zeminde şişmeye neden olan yeraltı suyundan etkilenmediği, yol taban zemininde ve yol stabilizasyonunda katkı malzemesi olarak kullanılabilceği görülmüştür (Kuloğlu, Özden ve Kayalar, 2006). YFC katkısının zeminlerin mekanik, fiziksel ve dayanım özelliklerinin iyileştirilmesi üzerine yapılan çalışmaların sonucunda, cüruf katkısının artışıyla killi zeminlerin CBR değerlerinin de arttığı görülmüştür (Kavak ve Bilgen, 2005). Kil zemin içerisine %5, 10, 20, 30 ve 50 oranlarında YFC karıştırılarak hazırlanmış stabilize karışım numunelerinde, saf kil zemin içindeki YFC oranı arttıkça birim hacim ağırlığının da artış gösterdiği, plastisite indeksinin azaldığı ve zemin dayanımının arttığı tespit edilmiştir (Sivrikaya, Yavascan ve Cecen, 2014). Killi zeminlerin dayanımlarını arttırmak amacıyla kireç ve YFC'nin birlikte kullanıldığı bir çalışmanın deney sonuçlarına göre, YFC'nin tek başına plastisite üzerinde bir etkisinin olmadığı, ancak %5 kireç ve %3,33 YFC karışımında plastisitenin 28'den 9'a düştüğü görülmüştür. Ayrıca, YFC'nin tek başına kullanıldığında serbest basınç dayanımını yaklaşık 2 kat arttırırken, bu oranlarda birlikte kullanıldığında ise 11 kat arttırdığı tespit edilmiştir (Bilgen, Kavak ve Yıldırım, 2010). Şişme özelliği gösteren kil zeminlerin dayanımlarının iyileştirilmesi amacıyla YFC ve çimento kullanılan bir çalışmada, en efektif olan %15YFC-%5 çimento oranının, kil zeminlerin plastisite indeksini ve şişme yüzdesini önemli ölçüde azalttığı görülmüştür (Cokca, Yazıcı ve Özyaydin, 2009).

Bu çalışmada, daha önce yapılan çalışmalardan farklı olarak, atık YFC ile dayanımı artırılan taşıma gücü zayıf killi bir yol taban zemininin, rijit yol kaplama kalınlığına ve maliyetine etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla, dayanımları artırılmış zemin numuneleri üzerinde sıkıştırma, serbest basınç, CBR deneyleri yapılmış ve AASHTO 1993 tasarım yöntemi yardımıyla saf kil ve YFC katkılı zeminler için rijit kaplama kalınlıkları belirlenerek güncel maliyetleri hesaplanmıştır.

## 2. Materyal ve Deneysel Yöntem

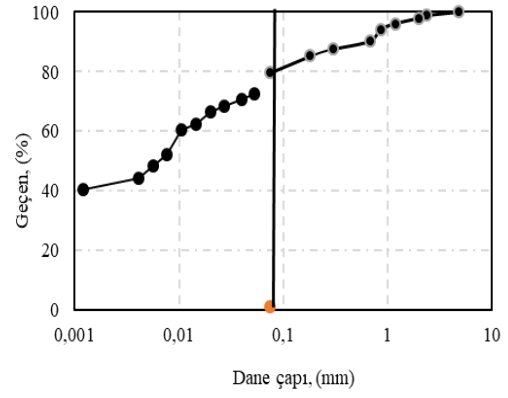
### 2.1. Materyal Ve Numune Hazırlama

Deneysel çalışmada, yol taban zemini olarak kullanılan kil zemin Malatya Kıltepe bölgesinden temin edilmiştir. Kil zemin üzerinde elek analizi (ASTM C136/C136M), hidrometre (ASTM

D422-63), modifiye kompaksiyon (ASTM 1557) ve Atterberg limitleri (ASTM 4318) deneyleri yapılmıştır. Zeminin deneylerden elde edilen mühendislik özellikleri Çizelge 1'de özetlenmiştir. Zeminin gradasyon eğrisi ise Şekil 1'de verilmiştir. Zemin sınıfı, Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi (USCS) verilerine göre yüksek plastisiteli kil (CH) olarak tespit edilmiştir (Çizelge 1).

**Çizelge 1.** Kil Zeminin Mühendislik Özellikleri

Özellik	Değer
Dane birim hacim ağırlığı, $\gamma_s$ , (g/cm <sup>3</sup> )	2,680
Maksimum kuru birim hacim ağırlığı, $\gamma_{kmax}$ , (g/cm <sup>3</sup> )	1,450
Optimum su içeriği, $w_{opt}$ , (%)	27
Likit limit, (LL), (%)	61
Plastik limit, (PL), (%)	29
Plastisite indeksi, (PI), (%)	32
Sınıflandırma, (USCS'ye göre)	CH



**Şekil 1.** Kil Zeminin Dane Çapı Dağılımı Eğrisi

Kil zeminin dayanımının iyileştirilmesi amacıyla kullanılan ve özgül ağırlığı 2,75 g/cm<sup>3</sup> olan YFC, Karabük ili Karçimsa tesisinden temin edilmiş ve kimyasal özellikleri Çizelge 2'de gösterilmiştir.

**Çizelge 2.** Yüksek Fırın Cürufunun (YFC) Kimyasal Özellikleri

Kimyasal Bileşen	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	S	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cl
Ağırlıkça İçerik, (%)	32,47	9,94	1,25	32,45	9,31	0,82	0,33	0,31	0,85	1,16	3,51	0,015

Deneyel çalışmalar kapsamında, kil-YFC karışım numuneleri hazırlanmadan önce ilk olarak, her iki malzeme 24 saat boyunca 105±5 °C'lik etüvde kurutulma işlemine tabi tutulmuştur. İkinci aşamada, kil zemin içerisine daha önceden yapılmış diğer çalışmalar (Kavak ve Bilgen; 2005) dikkate alınarak ağırlıkça %0, 5, 10, 15 ve 20 miktarlarında YFC ilave edilerek stabilize karışım numuneleri hazırlanmıştır.

Çalışma kapsamında hazırlanan saf kil ve stabilize karışım numuneleri sırasıyla Kil, %5YFC, %10YFC, %15YFC ve %20YFC olarak adlandırılmıştır.

## 2.2. Kıvam Limitleri Deneyi

Kıvam limitleri, ince daneli zeminleri içerdikleri su muhtevasına bağlı olarak tanımlamada kullanılan çok önemli parametrelerden biridir ve TS 1900-1'e uygun olarak belirlenmektedir. İnce daneli zeminlerin birçok özelliği kıvam limitlerine bağlı olarak ifade edilmektedir. Siltler ve killer bünyelerine su alan ve aldıkları su miktarına göre kıvamları değişebilen ince daneli zemin grubu malzemelerdir. Likit limit durumu, mevcut zeminin plastik durumdan, akıcı bir duruma geçtiği andaki su muhtevasıdır. İnce taneli zeminlerde kırılmadan şekil verilebilme özelliğine plastisite ismi verilmektedir. Islak zemin, su ile yoğrulup bu sırada zeminin yüzeyinde çatlaklar oluşturulursa, bu çatlakların oluştuğu andaki su muhtevası plastik limit olarak tanımlanmaktadır (Bilgen, 2007).

## 2.3. Standart Proctor Deneyi

Deney, zeminlerin taşıma kapasitesini artırmak, permeabilitesini ve farklı yükler altındaki oturmalarını en aza indirmek amacıyla, zemin numunesindeki havanın, su ve mekanik araçlar yardımıyla dışarı atılarak maksimum kuru birim hacim ağırlığının ( $\rho_k$ ) ve optimum su muhtevasının ( $w_{opt}$ ) belirlenmesi esasına dayanmaktadır. TS 1900-1 standardına göre yapılan deneyde, zemin numunesi 105°C'de 24 saat kurutulduktan sonra belirli oranlarda su eklenerek yoğrulur ve üçer kademe halinde kalıba yerleştirildikten sonra her seferinde 2,5 kg ağırlığındaki tokmak ile 25 kez vurularak sıkıştırılır.

Numunelerin farklı su içeriklerindeki kuru birim ağırlık değerlerine göre doygunluk eğrisi çizilerek, maksimum kuru birim ağırlığı ve optimum su muhtevası değerleri belirlenir (Yılmaz, Yıldırım ve Keskin 2017).

Bir zeminin kompaksiyon derecesi veya ölçüsü, sıkıştırılmış zemine ait kuru yoğunluk ( $\rho_k$ ) değeri ile belirlenmektedir. Sıkıştırılmış zeminde ( $\rho_k$ ) değerinin en yüksek olduğu durumdaki su içeriği, o zeminin optimum su içeriği ( $w_{opt}$ ) olarak adlandırılır (Bilge, 2011).

## 2.4. Tek Eksenli Serbest Basınç (UCS) Deneyi

TS 1900-2 standardına göre UCS deneyi, kohezyonlu zeminlerin kayma mukavemetinin belirlenmesi amacıyla yapılan bir deneydir. Deneyde, etüvde 105°C'de 24 saat kurutulmuş zemin numunesi, daha önce belirlenen optimum orandaki su ile yoğrulur ve serbest basınç kabına 4 tabaka halinde serilir. Her tabakadan sonra tokmak ile 10 kez vurulup sıkıştırılan numune, kalıptan çıkarılarak planlanan kür süresi boyunca oda sıcaklığında muhafaza edilir. Deneye tabi tutulan numunede oluşan deformasyon ve şekil değiştirmeler esas alınarak zeminin dayanım değerleri tespit edilir (Yılmaz, Yıldırım ve Keskin 2017).

## 2.5. CBR Deneyi

CBR deneyi TS 1900-2 standardına göre, en kesit alanı 1935 mm<sup>2</sup> olan bir pistonun belirli bir hızda (1,27 mm/dakika) zemin içine baskı uygulaması ile bulunan yük-penetrasyon bağlantısı vasıtasıyla zeminin taşıma gücünün belirlenmesine yardımcı olan bir deneydir. CBR değeri, zeminlerin 2,5 mm ve 5,0 mm deplasman veya çökme değerlerine karşılık gelen yük değerleri için hesaplanmaktadır. Hesaplanan değerlerden yüksek olan zeminin taşıma oranı değeri olarak kabul edilmektedir. Deneyde, etüvde 105°C'de 24 saat kurutulmuş numune optimum su ilave edilerek yoğrulur ve CBR kalıbına 3 kademe serilir. Her kademedan sonra 2,5 kg ağırlığındaki tokmak ile 56 kez vurulup sıkıştırılan numune planlanan kür süresinden sonra deneye tabi tutulur. Deney sonucunda 2,5 mm ve 5 mm penetrasyon için CBR değerleri belirlenir (Yılmaz, Yıldırım ve Keskin 2017).

## 2.6. AASHTO 1993 Yöntemi ile Rijit Üstyapı Tasarımı

Karayolu rijit üstyapı tasarımında hedef, projelendirilen tasarım ömrü süresince, tekerrür edecek olan trafiği, çatlamalara ve deformasyonlara maruz bırakmadan emniyetli bir düzeyde taşıyabilmek için yol üstyapı tabaka kalınlıklarının belirlenmesi

$$\log_{10} W_{8,2} = Z_R \times S_0 + 7,35 \times \log_{10}(d+1) - 0,06 + \log_{10} \left[ \frac{\Delta \text{PSI}}{(4,5-1,5)} \right] + (4,22 - 0,32 \times P_t) \times \log_{10} \left[ \frac{S'_c \times C_d \times [d^{0,75} - 1,132]}{215,63 \times J \times [d^{0,75} - [18,42 / (E_c/k^{0,25})]]} \right] \quad (1)$$

Bu eşitlikte;

$W_{8,2}$  : Toplam standart dingil yükü tekerrür sayısı (8,2 ton)

$Z_R$  : Standart normal sapma

$S_0$  : Toplam standart sapma

$d$  : Kaplamanın plak kalınlığı (inç) (0,0254 m)

$\Delta \text{PSI}$  : İlk tasarım servis yeteneği ( $p_0$ ) ile son servis yeteneği indeksi ( $p_t$ ) arasındaki fark

$S'_c$  : Beton için kopma modülü (psi) ( $6,8950 \times 10^3$  Pa)

$J$  : Yük transfer katsayısı

$C_d$  : Yol drenaj katsayısı

$E_c$  : Beton için elastisite modülü (psi) ( $6,8950 \times 10^3$  Pa)

$k$  : Taban reaksiyon modülü (pci) ( $27679,9 \text{ kg/m}^3$ ) göstermektedir.

### 2.6.1. Servis yeteneği (performans ölçütü)

Yol mühendisliğinde kaplamanın performans ölçütü olarak kabul edilen servis yeteneği değeri 0-5 aralığında değerlendirilmektedir. Sıfır (0) en düşük beş (5) en yüksek performans ölçütü derecesini belirtir. Başlangıç performans ölçütü indeksi ( $p_0$ ), son performans ölçütü indeksi ( $p_t$ ) olarak gösterilir ve ( $p_0$ ) değeri zaman içerisinde artan trafik yükleri ve farklı çevre koşullarının etkileri ile kabul edilebilir bir ( $p_t$ ) değerine kadar azalma göstermektedir. AASHTO 1993 yöntemine göre ( $p_0$ ) değeri rijit yol üstyapıları için 4,5 olarak belirlenmiştir (Karayolları beton yol üstyapılar projelendirme rehberi, 2019). Çalışma kapsamında yapılan hesaplamalarda  $p_0 = 4,5$  ve Çizelge 3'den  $p_t = 2,5$  olarak seçilmiştir.

**Çizelge 3.** Son Servis Yeteneği Değeri

Yolun Sınıfı	$P_t$
Otoyol ve devlet yollarında	2,5
İl yollarında	2,0

### 2.6.2. Güvenilirlik

Güvenilirlik, üstyapının trafik yüklerine karşı minimum bir dirençle karşı koyması durumunda meydana gelebilecek aksaklıkları gidermeye çalışması olarak ifade edilmektedir. Güvenilirlik seviyesi Çizelge 4 yardımı ile seçilmektedir (Karayolları Beton Yol Üstyapılar Projelendirme Rehberi, 2019).

**Çizelge 4.** Tavsiye Edilen Güvenilirlik Seviyeleri

Yolun sınıfı	R, (%)
Devlet yolları ve otoyollar	80 - 99,9
İl yolları	75 - 95
Toplayıcı yollar	75 - 95
Tali ve mahalli yollar	50 - 80

Ülkemiz için yapılacak tasarımlarda tavsiye edilen (R) değerleri, devlet yolları ile otoyollar için %95; il yolları için ise

ve bu tabakaları oluşturacak malzeme özelliklerinin saptanmasıdır. Bu kapsamda, beton kaplamanın performansı için 8,2 tonluk standart eşdeğer tek dingil yükü tekerrür sayısının ( $W_{8,2}$ ), kaplamanın performansı üzerindeki etkisi göz önünde bulundurularak elde edilen AASHTO 1993 denklemi Eşitlik 1'de verilmiştir. Beton kaplama kalınlığı (d), Eşitlikte verilen formüle göre hesaplanmaktadır (AASHTO, 1993).

%85 alınması öngörülmektedir. Güvenilirlik derecesine (R) bağlı olarak güvenilirliğin standart sapması ( $Z_R$ ) Çizelge 5 yardımı ile seçilir (Güngör ve Sağlık 2008).

**Çizelge 5.** Tavsiye Edilen Güvenilirlik Değerleri

Yolun sınıfı	Şartname güvenilirlik değeri, R (%)	Standart normal sapma, $Z_R$
Otoyollar	95	-1.645
Devlet Yolu	85	-1.037
İl Yolu	70	-0.524

Çalışma kapsamında yapılan hesaplamalarda otoyollar ve devlet yolları için Çizelge 4'den (R) %95 ve seçilen (R) değerine bağlı olarak Çizelge 5'den  $Z_R$  değeri -1,645 olarak seçilmiştir.

Rijit üstyapılar için toplam standart sapma değerinin ( $S_0$ ) 0,35 olarak alınması önerilmektedir (Karayolları beton yol üstyapılar projelendirme rehberi, 2019).

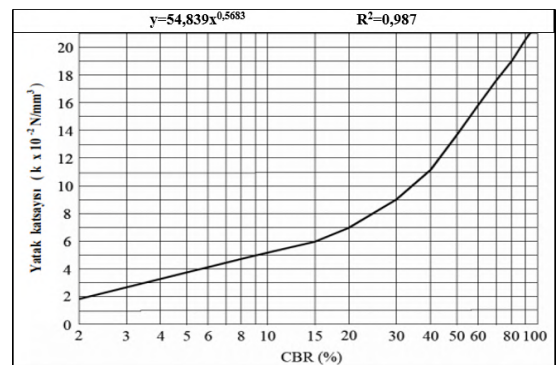
### 2.6.3. Taban zemini efektif reaksiyon modülü (k)

Taban zemini için alınan efektif reaksiyon modülü (k), beton (rijit) kaplamalarda efektif yatak katsayısı olarak da adlandırılır. Beton veya rijit plak kalınlık hesaplamaları öncesinde (k) değerinin belirlenmesi gereklidir. Bu değer Eşitlik 2 yardımı ile hesaplanmaktadır (Karayolları Beton Yol Üstyapılar Projelendirme Rehberi, 2019).

$$k = P/Y \quad (2)$$

Burada; P, Taban zeminine gelen yükü (psi veya  $\text{kg/cm}^2$ ); Y, Çökme deformasyonunu (inç veya cm) ve k, Yatak katsayısı-efektif reaksiyon modülünü (psi/inç veya  $\text{kg/cm}^2/\text{cm}$ ) ifade etmektedir.

k değeri, zeminin taşıma gücüne, yoğunluğuna, nem miktarına ve cinsine bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir. k katsayısının plaka yükleme testi ile tespit edilemediği şartlarda, taban zeminin (CBR) değeri belirlenir ve Şekil 2 eğrisi yardımı ile yaklaşık olarak tespit edilir (Yılmaz, Yıldırım ve Keskin 2017).



**Şekil 2.** CBR ile k Arasındaki Bağntı Eğrisi (AASHTO 1993)

Şekil 2’de verilen CBR ile taban reaksiyon modülü (k) arasında regresyon yapılmıştır. Yapılan regresyon sonucunda korelasyon katsayısı ve  $R^2=0,987$  olarak bulunmuştur. Korelasyon değeri 1’e çok yakın olduğundan pozitif güçlü korelasyon vardır. Bu ilişki CBR değerinin artmasıyla, (k) değerinin de artmakta olduğunu göstermektedir. Regresyonda y bağımlısı yatak katsayısını (k), x bağımsız ise CBR değerini ifade eder. Buna göre CBR ile (k) değeri arasındaki bağıntı Eşitlik 3’de görüldüğü gibi ifade edilebilir.

$$k = 54,839 \times \text{CBR}^{0,5653} \quad (3)$$

#### 2.6.4. Elastisite modülü ( $E_c$ ) ve portland çimentolu betonun kopma modülü ( $S'_c$ )

Betonun “j” günlük elastisite modülü ( $E_{cj}$ ) TS 500’e göre Eşitlik 4’de verilen bağıntı ile belirlenir.

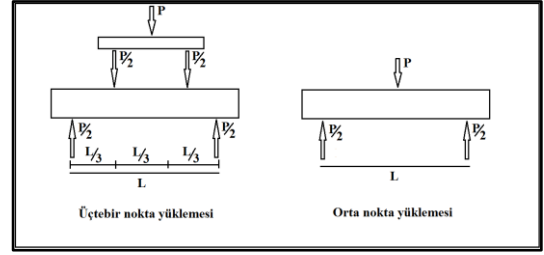
$$E_{cj} = 3250 \sqrt{f_{ckj}} + 14.000 \text{ MPa} \quad (4)$$

Burada;  $E_{cj}$ , betonun “j” günlük elastisite modülünü (MPa),  $f_{ckj}$  ise betonun “j” günlük karakteristik silindirik basınç dayanımını (MPa, j=28 gün) ifade etmektedir. AASHTO tasarım rehberinde beton sınıflarına göre elastisite modülü ( $E_c$ ) değerleri Eşitlik 5 ile hesaplanmaktadır.  $S'_c$ , portland çimentosu ile hazırlanan betonun yaklaşık kopma modülünü (psi) ( $6,8950 \times 10^3$  Pa),  $E_c$  ise portland çimentolu betonun elastisite modülünü (psi) ( $6,8950 \times 10^3$  Pa) ifade etmektedir.

$$E_c = 6750 \times S'_c \quad (5)$$

Eğilmede çekme dayanımı ve kopma modülü ( $S'_c$ ), ‘Beton kirişin kırılma esnasında ulaştığı en yüksek eğilme-çekme

gerilmesi’ olarak tanımlanır. Eğilmede çekme dayanımı, Şekil 3’de görüldüğü gibi belirli boyuttaki beton bir kirişin 28 günlük kür sonunda orta nokta veya üç nokta yüklemesi altında kırılması ile hesaplanmaktadır (Karayolları Beton Yol Üstyapılar Projelendirme Rehberi, 2019).



Şekil 3. Eğilme Direncinin Saptanması (Karayolları Beton Yol Üstyapılar Projelendirme Rehberi, 2019).

Kopma modülleri veya eğilme direçleri, bu yüklemeler altında üçte bir nokta yüklemesi için Eşitlik 6 ve orta nokta yüklemesi için Eşitlik 7 bağıntıları ile hesaplanmaktadır.

$$S'_c = (P \times L) / (b \times h^2) \quad (6)$$

$$S'_c = (3 \times P \times L) / (2 \times b \times h^2) \quad (7)$$

Burada;  $S'_c$ , kopma modülü veya eğilme direncini; b, kiriş genişliğini; h, kiriş yüksekliğini; P, uygulanan yükü ve L ise uzunluk olarak ifade edilmektedir.

$E_c$  ve  $S'_c$  değerleri beton sınıflarına bağlı olarak Çizelge 6’da verilmiştir (Karayolları Beton Yol Üstyapılar Projelendirme Rehberi, 2019).

Çizelge 6. Beton Sınıflarının  $S'_c$  ve  $E_c$  Değerleri

Beton sınıfı	Karakteristik silindirik basınç dayanımı, ( $f_{ck}$ ), (MPa)	Karakteristik küp basınç dayanımı, ( $f_{ck}$ ) (MPa)	Eğilmede çekme dayanımı (MPa)	TS 500’e göre yaklaşık $S'_c$ (psi)	AASHTO’ya göre yaklaşık $S'_c$ (psi)	Ortalama $S'_c$ (psi)	$E_c$ (MPa)	$E_c$ (psi)
C 30/37	30	37	3,83	556	688	622	32.000	4.641.206
C 35/45	35	45	4,20	610	709	660	33.000	4.786.244
C 40/50	40	50	4,43	643	731	687	34.000	4.931.281

AASHTO 1993 tasarım rehberinde beton sınıfı olarak C 35/45 seçilerek gerekli hesaplamaların yapılması önerilmektedir (Karayolları Beton Yol Üstyapılar Projelendirme Rehberi, 2019).

**2.6.5. Drenaj** Drenaj katsayısının ( $C_d$ ) beton kaplamalar için önerilen değerleri, Çizelge 7’de belirtilmiştir. Bu çalışmada, hesaplamalar için  $C_d$  değeri 1 olarak alınmıştır.

Çizelge 7. Beton Üstyapı için Önerilen Drenaj Katsayısı ( $C_d$ ) (Mahmoud, 2011)

Drenaj Kalitesi	Suyun Süresi	Uzaklaştırma	Kaplamanın doygunluk seviyesine yakın su içeriğine maruz kaldığı sürenin yüzdesi			
			<%1	%1-5	%5-25	>%25
Çok İyi	2 saat		1,25-1,20	1,20-1,15	1,15-1,10	1,10
İyi	1 gün		1,20-1,15	1,15-1,10	1,10-1,00	1,00
Vasat	1 hafta		1,15-1,10	1,10-1,00	1,00-0,90	0,90
Kötü	1 ay		1,10-1,00	1,00-0,90	0,90-0,80	0,80
Çok Kötü	Dren yok		1,00-0,90	0,90-0,80	0,80-0,70	0,70

### 2.6.6. Yük transfer katsayısı ( J )

Derzlerde beton üstyapının yük nakletme yeteneğini ifade eden ve yük nakil katsayısı olarak adlandırılan (J) parametresi beton yol üstyapı projelendirilmesinde dikkate alınmaktadır

(Tanyıldızı, 2010). Projelendirme koşullarına göre yük transfer katsayıları Çizelge 8'de verilmiştir. Bu çalışmada, tüm hesaplamalar için  $J=2,7$  olarak kabul edilmiştir.

Çizelge 8. Önerilen Yük Transfer Katsayıları (Tanyıldızı, 2010)

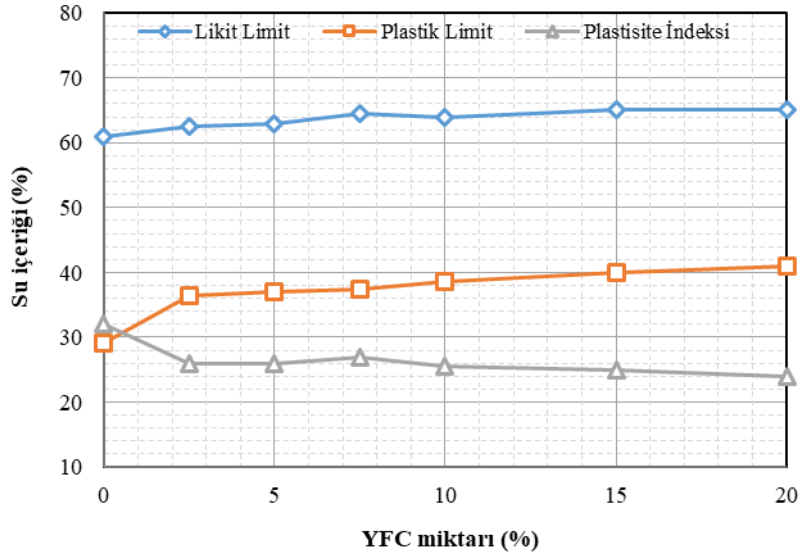
Banket	Asfalt		Beton (Rijit) Kaplama	
Yük Transferi	Var	Yok	Var	Yok
Donatısız derzli	3,2	3,8 - 4,4	2,5 - 3,1	3,6 - 4,2
Donatılı derzli	3,2	3,8 - 4,4	2,5 - 3,1	3,6 - 4,2
Sürekli donatılı derzsiz	2,9 - 3,2	-	2,3 - 2,9	-

## 3. Bulgular ve Değerlendirme

### 3.1. Kıvam Limitleri Deney Sonuçları

DeneySEL çalışmalar kapsamında, katkısız saf kil ve belirlenen oranlarda (%0, %5, %10, %15 ve %20) hazırlanan

karışımlar üzerinde TS 1900-1'e uygun olarak likit limit ve plastik limit deneyleri yapılmıştır. Deneylere tabi tutulan numunelerin 7 günlük kür süresinin sonundaki sonuçları Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. Karışımların Kıvam Limitlerindeki Değişim

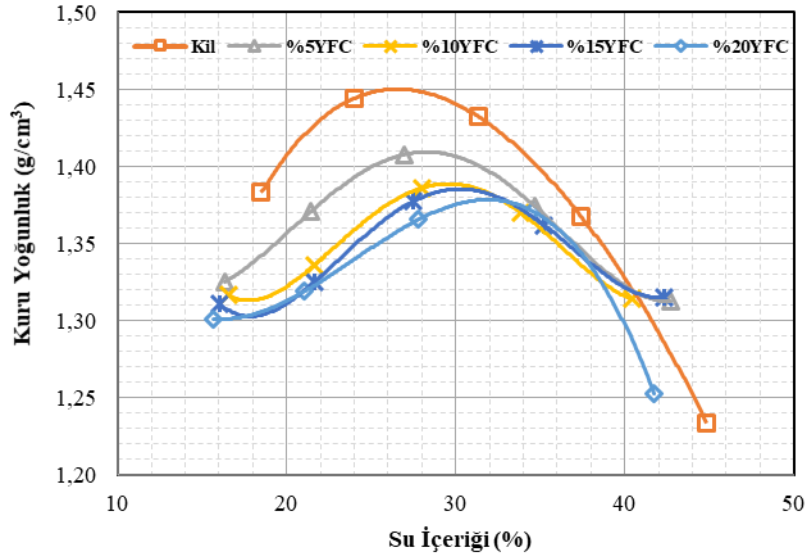
Şekil 4 dikkate alındığında, YFC artışına bağlı olarak karışımların likit limit değerlerinde daha az ancak plastik limit değerlerinde ise daha fazla artış gözlemlenmektedir. Bu değişimlere bağlı olarak plastisite indeksi (PI) değerlerinde bir azalma görülmektedir. Plastisite indeksindeki azalma, YFC ilavesiyle zeminlerin su hassasiyetinin azaldığını ifade etmektedir. Ayrıca, bu azalma ile bağlantılı olarak zeminin işlenebilirlik özelliğinin artış göstereceği ifade edilebilir.

### 3.2. Standart Proctor Deney Sonuçları

Yapılan kompaksiyon (standart proctor) deneyinde, stabilize numuneler optimum su oranı tayini için deneye tabi tutulurken, YFC'nin karışımdaki puzolanik reaktivitesini arttırmak ve zemin ile arasında iyi bir aderans temin etmek amacıyla su yerine Sodyum Hidroksit (NaOH) solüsyonu eklenmiştir. Kristal haldeki sodyum hidroksit ve suyun karışımından elde edilen solüsyonun karışım oranı 320 gr/lt şeklindedir. Yani 1 litre suya 320 gr

sodyum hidroksit eklenmiştir. Ardından TS 1900-1 standardına göre saf kil zemin ve her bir karışım için (%0, %5, %10, %15 ve %20) numuneler hazırlanmış ve bu numuneler standart proktor

deneilerine tabi tutulmuştur. Deney sonucunda numunelerin su oranına bağlı kuru yoğunluk grafikleri Şekil 5'te gösterilmiştir.

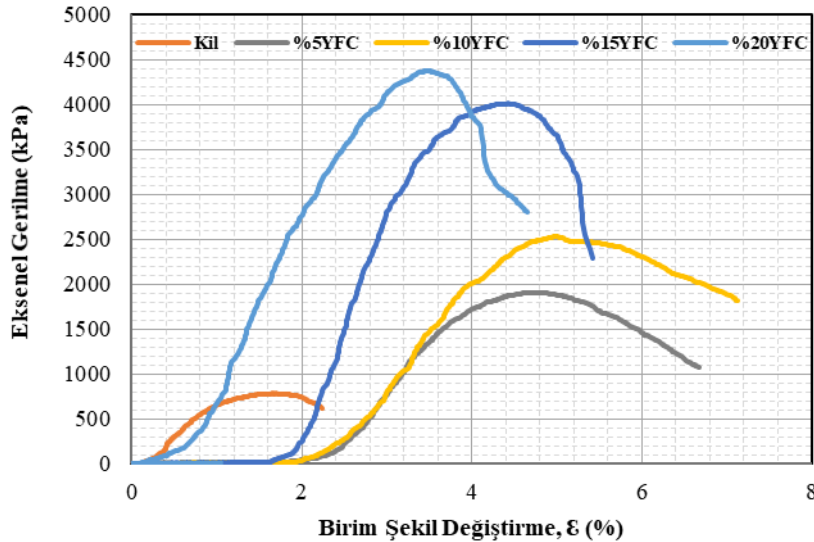


Şekil 5. Numunelere Ait Kuru Yoğunluk - Su İçeriği Grafikleri

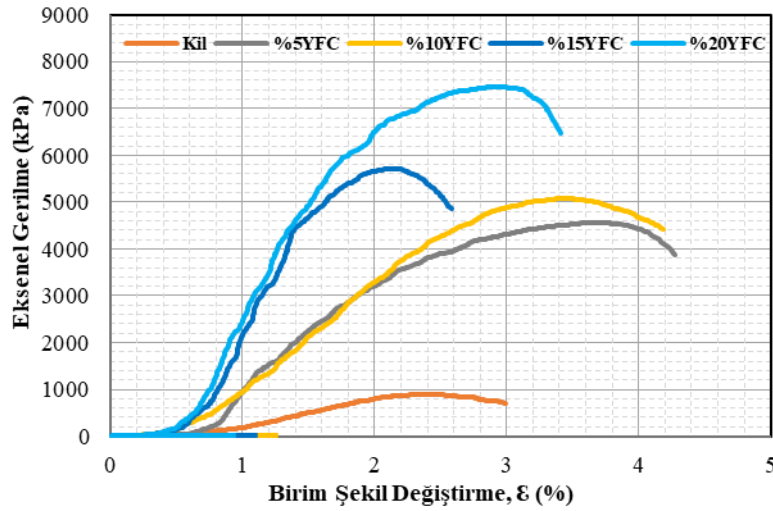
Şekil 5 incelendiğinde, YFC miktarındaki artışa bağlı olarak numunelerin optimum su içeriğinde artış, maksimum kuru yoğunluklarında ise azalma meydana geldiği tespit edilmiştir. Numunelerin maksimum kuru yoğunluklardaki optimum su muhtevaları ( $W_{opt}$ ) sırasıyla %27, %28,5, %29,5, %30,5 ve %31 olarak elde edilmiştir. Su muhtevadaki artışın ve kuru yoğunlukta meydana gelen azalmanın, YFC'nin yüksek su emme potansiyeli ve ince taneli yapıya sahip olmasından kaynaklandığı (Arulrajah, Mohammadinia, Horpibulsuk ve Samingthong, 2016) düşünülmektedir.

### 3.3. Tek Eksenli Serbest Basınç Deney Sonuçları

Deney kapsamında her numune için belirlenen  $W_{opt}$  değerleri esas alınarak tek eksenli serbest basınç deneyleri için karışım numuneleri hazırlanmıştır. Her bir karışım için üçer adet numune hazırlanıp, 7 ve 28 günlük kür süresine tabi tutulmuş ve bu süre sonunda serbest basınç deneyi yapılmıştır. Karışım numunelerinin 7 ve 28 günlük kür süresi sonucunda bulunan Gerilme-Şekil değiştirme grafikleri sırasıyla Şekil 6 ve Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 6. Numunelerin Serbest Basınç Deney Grafikleri (7 Günlük Kür)



Şekil 7. Numunelerin Serbest Basınç Deney Grafikleri (28 Günlük Kür)

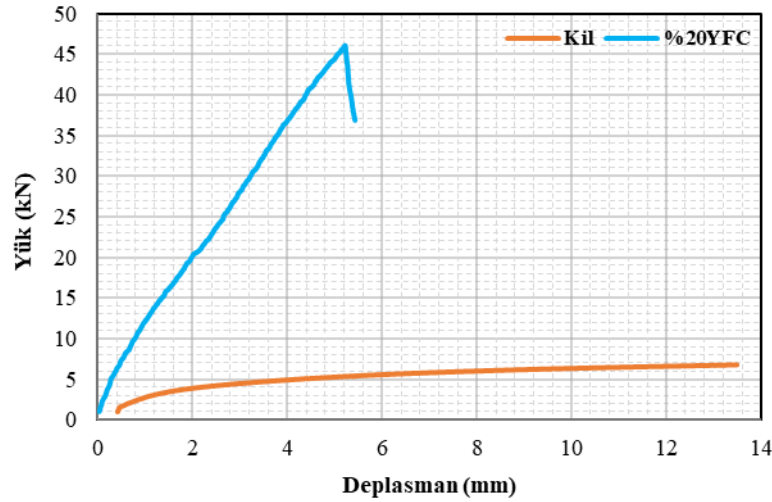
Şekil 6 ve Şekil 7’de görüldüğü gibi, YFC artışı ile zeminlerin dayanımlarının arttığı ve karışımlar içerisinde en yüksek serbest basınç dayanımlarının %20YFC katkılı kil numunelere ait olduğu görülmektedir. 28 günlük kür süresi sonunda %20YFC katkısı ile stabilize edilen kilin serbest basınç dayanımında önemli miktarda artış olduğu gözlemlenmiştir. Bu durumun, YFC’nin puzolanik bir malzeme olması ve puzolanik malzemelerin daha geç dayanım kazanmasından kaynaklandığı değerlendirilmektedir. Ancak, YFC kullanılarak yapılan önceki çalışmalar (Sivrikaya, Yavaşcan ve Çeçen 2014; Bilgen, Kavak ve Çapar 2012; Kelly, 2008) dikkate alındığında maksimum dayanımı veren oranların birbirinden farklılık gösterdiği görülmektedir. Yapılan literatür incelemeleri neticesinde bu farklılığın çalışmada kullanılan

killerin ve YFC’nin yapısal farklılıklarından ve puzolanik reaksiyonu artırmak için kullanılan çözeltilerin cins ve miktarından kaynaklandığı görülmektedir.

### 3.4. CBR Deney Sonuçları

Serbest Basınç deneyleri sonucunda, en efektif katkı oranı %20 olarak tespit edildikten sonra, hazırlanan saf ve stabilize karışım numuneleri CBR deneyine tabi tutulmuştur. Bu amaçla, saf kil ve %20YFC içeren karışım numuneleri ikişer adet hazırlanarak 7 ve 28 günlük kür süresine tabi tutulmuştur.

Numunelerin, 7 günlük kür süresi sonucunda elde edilmiş olan yük-deplasman grafiği Şekil 8’te, tespit edilen CBR değerleri ise Çizelge 9’da gösterilmiştir.



Şekil 8. Numunelerin Yük-Deplasman Davranışı (7 Günlük Kür)

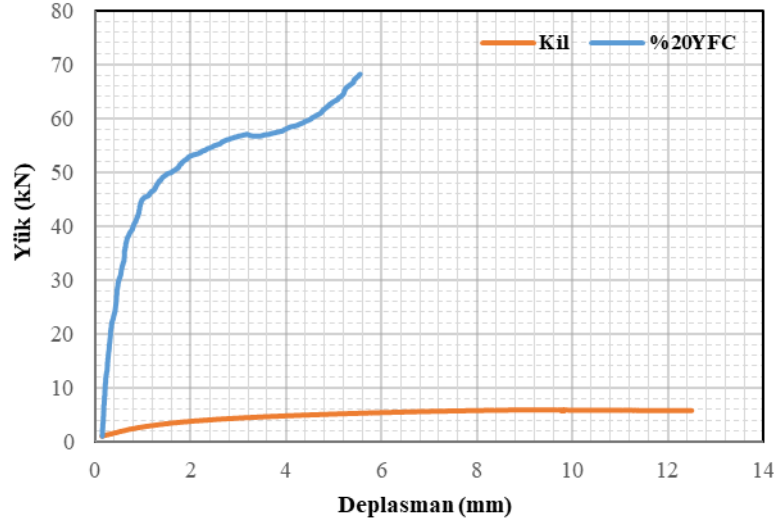
Çizelge 9. Numunelerin 7 Günlük Kür Sonundaki CBR Değerleri

Numune	Kür Süresi	CBR (2,5 mm), (%)	CBR (5 mm), (%)
Saf Kil	7 günlük	31,2	25,6
Saf Kil+%20 YFC	7 günlük	179,7	222,9

CBR deney sonuçlarına göre, 2,5 ve 5 mm’lik deplasmanlara ait 7 günlük kürün sonucunda CBR değerleri saf kil zemin için sırasıyla %31,2 ve %25,6; %20YFC katkılı zemin için %179,7 ve %222,9 olarak elde edilmiştir. Bu kür sonucunda %20YFC katkısı

ile saf kil zeminin CBR değeri takribi olarak 7,14 kat artış göstermiştir. Saf ve %20YFC katkılı zeminlerin 28 günlük kür sonucunda elde edilmiş olan yük-deplasman grafiği ise Şekil 9’da, tespit edilen CBR değerleri de Çizelge 10’da gösterilmiştir.





Şekil 9. Numunelerin Yük-Deplasman Davranışı (28 Günlük Kür)

Çizelge 10. Numunelerin 28 Günlük Kür Sonundaki CBR Değerleri

Numune	Kür Süresi	CBR (2,5 mm), (%)	CBR (5 mm), (%)
Saf Kil	28 günlük	32	26,4
Saf Kil+%20 YFC		416,04	315,63

Deney sonuçlarına göre, 28 günlük kür sonucunda 2,5 ve 5 mm'lik deplasmanlara karşılık gelen CBR değerleri saf kil zemin için sırasıyla %32 ve %26,4; %20YFC katkılı zemin için sırasıyla % 416,04 ve % 315,63 olarak elde edilmiştir. Bu kür sonucunda % 20YFC katkısı saf killi zeminin CBR değerini takribi olarak 13 kat artırmıştır. Bu artışlar, killi zeminlerin taşıma gücü üzerinde YFC'nin oldukça iyileştirici bir etkiye sahip olduğunu ve bu sonucun önceki çalışmalar (Kuloğlu, Özden ve Kayalar, 2006) ile uyumlu olduğunu göstermektedir.

### 3.5. AASHTO Metodu ile Rijit Üstyapı Tasarım Sonuçları

Rijit üstyapı tasarımı için AASHTO (1993) tasarım rehberine göre, katkısız saf ve %20YFC katkılı yol taban zemini esas alınarak hesaplamalar yapılmıştır. Tasarımda, derzli donatsız rijit yol kaplama kalınlığı etüt edilmiştir. Bu etüt yapılırken hesaplamalarında kullanılan parametreler Çizelge 11'de verilmiştir. Hesaplamalarda, farklı trafik değerleri için Eşitlik 1 yardımıyla beton kaplama kalınlıkları hesaplanmıştır.

Çizelge 11. Rijit Kaplama Hesaplamalarında Kullanılan Parametreler

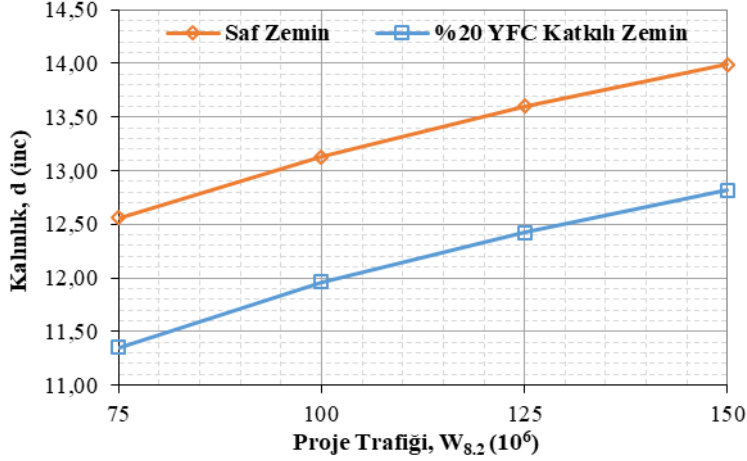
Parametreler	Seçilen Değer
8,2 ton eşdeğer tek-dingil yükü tekrür sayısı, $W_{8,2}$	$75 \times 10^6$ , $100 \times 10^6$ , $125 \times 10^6$ ve $150 \times 10^6$
Yük transfer katsayısı, J	2,7
Drenaj katsayısı, $C_d$	1
Trafik tahmini ve performans tahmininin standart hatası, $S_0$	0,35
%95 $R_E$ için, Standart normal sapma, $Z_R$	-1,645
Betonun elastisite modülü, $E_c$ (psi) ( $6,8950 \times 10^3$ Pa)	4.786.244
Servis yeteneği kaybı, $\Delta PSI$ (psi), $\Delta PSI = P_0 - P_t = 2$	2
Betonun kopma modülü ( $S'_c$ ) (psi) ( $6,8950 \times 10^3$ Pa)	660
Taban reaksiyon modülü, k (pci) ( $27679,9 \text{ kg/m}^3$ )	$k_{kil}=393,07$ , $k_{\%20YFC \text{ katkılı kil}}=1658,30$

Katkısız kil zeminin ( $k=393,07$  pci) farklı trafik yükleri için ( $75 \times 10^6$ ,  $100 \times 10^6$ ,  $125 \times 10^6$  ve  $150 \times 10^6$ ) kaplama kalınlıkları Eşitlik 1 yardımıyla hesaplanarak sırasıyla 12,56, 13,13, 13,60 ve 13,99 inç olarak hesaplanmıştır. Benzer şekilde %20YFC katkılı

kil zeminin de aynı trafik değerlerindeki kaplama kalınlıkları belirlenerek bütün sonuçlar Çizelge 12'de verilmiştir. Kaplama kalınlıklarının trafikle değişim grafiği ise Şekil 10'da gösterilmiştir.

**Çizelge 12.** Saf ve %20 YFC Katkılı Kil Zeminlerin Beton Kaplama Kalınlıkları

Proje Trafığı ( $W_{8,2}$ ) x $10^6$	Saf kil zemin		%20YFC katkılı kil zemin	
	d (inc)	d (cm)	d (inc)	d (cm)
75	12,56	31,90	11,35	28,83
100	13,13	33,35	11,96	30,38
125	13,60	34,54	12,42	31,55
150	13,99	35,53	12,82	32,56

**Şekil 10.** Saf ve %20YFC Katkılı Kil Zeminlerin  $W_{8,2}$  – d Değişim Grafiği

Şekil 10 incelendiğinde, rijit üstyapı tasarımında yol taban zemini olarak saf kil yerine %20 YFC katkılı kil zemin kullanılması durumunda üstyapı tabaka kalınlığında önemli bir azalma meydana geldiği görülmektedir. Bu azalma, artan trafik değerlerine göre saf zemine kıyasla sırasıyla 3,07 cm, 2,97 cm, 2,99 cm ve 2,97 cm olarak gerçekleşmiştir. Bu durumda benzer ağır trafik etkilerine maruz bir yolda, yol zemininin YFC ile stabilize edilmesiyle rijit üstyapı kalınlığının ciddi oranda azalacağını ve bunun yol maliyetini önemli ölçüde düşüreceğini ifade etmek mümkündür.

### 3.6. Rijit Üstyapının Ekonomik Analizi

YFC ile iyileştirilmiş zeminin karayolu rijit üstyapı maliyeti üzerindeki etkisi, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (ÇŞB) tarafından yayınlanmış olan 2020 yılı birim fiyat cetvellerinden (<http://www.birimfiyat.net> 2020) öncelikle C 35/45 basınç sınıfındaki beton kaplama ve temel için birim alan maliyetleri hesaplanmıştır. Maliyet hesabında; her bir tabakanın maliyeti, birim fiyatların tabakanın kendi kalınlığına bölünerek “m<sup>2</sup>/cm” cinsinden hesaplanması ile elde edilmiş ve bunların toplamıyla üstyapı birim maliyeti 4,05 TL olarak belirlenmiştir. Hesaplamalarda, beton plak altına AASHTO tarafından önerilen 20 cm kalınlığındaki plentmiks temel (PMT) esas alınmıştır.

ÇŞB'nin 2020 yılı birim fiyatları ve tabakaların birim maliyetleri Çizelge 13'te verilmiştir.

**Çizelge 13.** Rijit Üstyapı İçin Birim Maliyetler

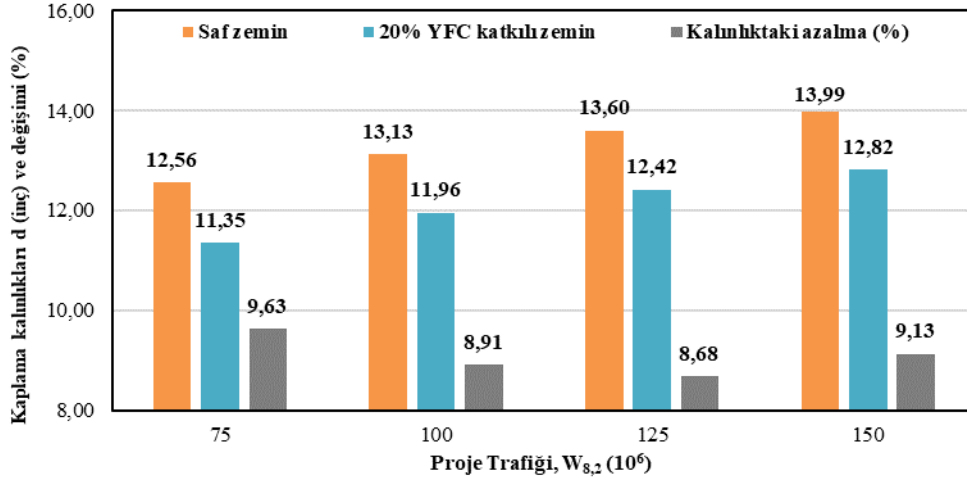
Poz No	Tanım	Birim	Birim Fiyat (TL)	Maliyet (m <sup>2</sup> /cm), (TL)
15.150.1007	Beton santralinde üretilen veya satın alınan ve beton pompasıyla basılan, C 35/45 basınç dayanım sınıfında, gri renkte, normal hazır beton dökülmesi (beton nakli dahil)	m <sup>3</sup>	278,63	2,78
KGM/6100/3	Plentmix temel yapılması (kırılmış ve elenmiş ocak taşı ile) Not: Kaplama yoğunluğu 2,4 gr/cm <sup>3</sup>	ton	53,21	1,27

Çizelge 13'teki veriler esas alınarak, saf ve %20YFC katkılı zeminlerin farklı trafik değerleri için rijit üstyapı birim maliyetleri ve maliyetlerdeki değişim hesaplanmış ve sonuçları Çizelge 14'te

verilmiştir. Zeminlerin kalınlıklarındaki ve maliyetlerindeki azalma ise Şekil 11 ve 12'de gösterilmiştir.

Çizelge 14. Saf ve %20YFC Katkılı Zeminler için Rijit Üstyapı Birim Maliyetleri

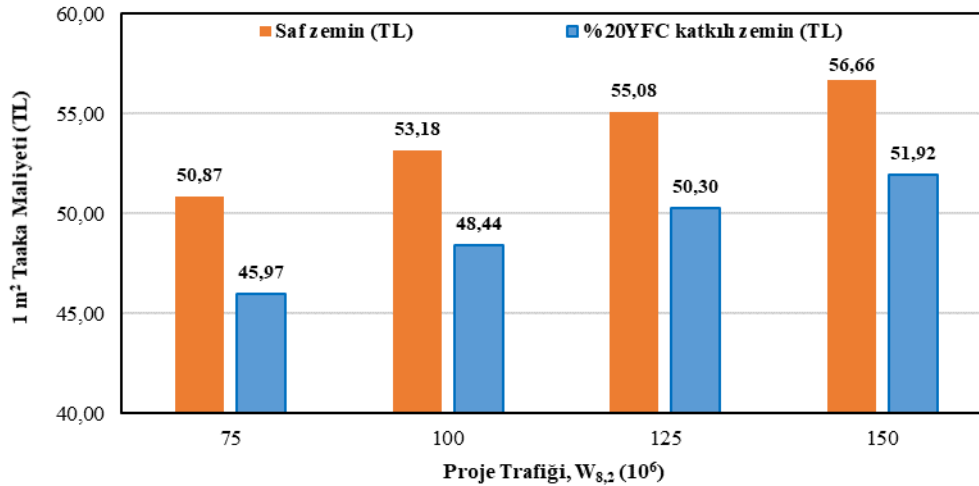
Trafik ( $W_{8,2}$ ) x $10^6$	Saf zemin (d) (inc)	%20YFC katkılı zemin (d) (inc)	Saf zemin için 1 m <sup>2</sup> maliyeti (TL)	%20YFC katkılı zemin için 1 m <sup>2</sup> maliyeti (TL)	d'deki ve maliyetteki azalma (%)
75	12,56	11,35	50,87	45,97	9,63
100	13,13	11,96	53,18	48,44	8,91
125	13,60	12,42	55,08	50,30	8,68
150	13,99	12,82	56,66	51,92	8,36



Şekil 11. Farklı Trafik Değerlerine Göre Rijit Kaplama Kalınlıklarındaki Değişim

Şekil 11'de görüldüğü gibi farklı trafik değerlerine bağlı olarak, rijit kaplama kalınlıklarında saf zemine kıyasla sırasıyla % 9,63, % 8,91, % 8,68 ve % 8,36 azalma meydana gelmiştir. Bu durumun, YFC kullanımının kaplama kalınlığının azalmasına

önemli bir etkiye sahip olduğunu ve yolun maliyetinin azalmasına etki ederek kaplamanın ilk yapım maliyetini düşürdüğü tespit edilmiştir.



Şekil 12. Farklı Trafik Değerlerine Göre Rijit Kaplama Kalınlıklarındaki Maliyet Değişimi

Şekil 12'de verilen maliyette azalış oranları dikkate alınarak, proje trafiği  $W_{8,2} = 75 \times 10^6$  olan rijit bir üstyapıda; saf kil zemin yerine %20 YFC katkılı kil zemine göre tasarım yapılması durumunda, çift şeritli bölünmüş (platform genişliği 20 m) 1000 m uzunluğundaki yolda  $20 \times 1000 \times 0,0963 = 1.926$  TL maliyet azalışı olduğu tespit edilmiştir. Benzer şekilde proje trafiği  $100 \times 10^6$ ,  $125 \times 10^6$  ve  $150 \times 10^6$  olan rijit üstyapılarda sırasıyla 1.782 TL, 1.736 TL ve 1.672 TL maliyet azalışı meydana

gelmektedir. Bu durumun YFC'nin kaplamanın kalınlığı ve maliyeti üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir.

## Sonuçlar ve Öneriler

YFC ilave edilerek dayanımı artırılan killi bir yol taban zemininin, karayolu rijit üstyapı tabaka kalınlıklarına ve

maliyetlerine etkilerinin araştırıldığı bu çalışmada aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir;

\* Kil zeminin içeriğindeki YFC miktarının artmasına bağlı olarak, karışımların optimum su muhtevalarında artış, maksimum kuru yoğunluk değerlerinde ise azalma görülmüştür. Bu durumun YFC'nin yüksek su emme potansiyeli ve ince taneli yapıya sahip olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

\* Serbest basınç deneyi sonuçlarına göre, YFC ilavesi ile saf zeminin serbest basınç dayanım artmış ve en yüksek dayanım %20 YFC içeren karışımlardan elde edilmiştir. Bu sonuç, kil zeminin kayma direnci ve kohezyon yeteneği üzerinde YFC'nin iyileştirici bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir.

\* CBR deney sonuçlarına göre, %20 YFC içeren karışımların 2,5 mm ve 5 mm'lik deplasmanlara karşılık gelen CBR değerleri, saf zeminlere kıyasla sırasıyla 7,14 ve 13 kat fazla elde edilmiştir. Bu önemli artışlar, kil zeminin kalıcı deformasyon direnci üzerinde YFC'nin çok olumlu bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir.

\* Hesaplamalar neticesinde %20 YFC ilaveli yol taban zemini üzerine oturan rijit üstyapının, kil zemin üzerine inşa edilen rijit üstyapıya nazaran %9,63, %8,91, %8,68 ve %8,36 oranlarında daha düşük kalınlıkta inşa edilebileceği görülmüştür.

\* Aynı proje trafik değerlerinde, %20 YFC katkılı kil zemine göre tasarım yapılması durumunda, çift şeritli bölünmüş (platform genişliği 20 m) 1000 m uzunluğundaki yolda saf kil zemine kıyasla sırasıyla 1.926 TL, 1.782 TL, 1.736 TL ve 1.672 TL maliyet azalışı sağlanmıştır.

Çalışma sonucunda, değişik trafik yükü altında killi bir zemine YFC ilave edilmesiyle zeminin dayanımının önemli ölçüde arttığı, rijit yol üstyapı tabaka kalınlıklarının ve yapım maliyetlerinin önemli ölçüde azaldığı tespit edilmiştir. Bu sebeple, zeminlerinin YFC ile iyileştirilmesi durumunda yol üstyapı maliyeti ve YFC'nin çevreye verdiği zararı önlemek bakımından çok faydalı olacağı düşünülmektedir.

## Teşekkür

Bu çalışma, İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Koordinasyon Birimi, FBG-2018-957 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

## Kaynaklar

- ACI, 2005. Ground granulated blast-furnace slag as a cementitious constituent in concrete reported by aci committee 233, American Concrete Institute, Detroit, Michigan.
- American Association of State Highway and Transportation Officials, 1993. AASHTO Guide for Design of Pavement Structures. Washington, D.C.
- Aruntaş H.Y., 2006. Uçucu küllerin inşaat sektöründe kullanım potansiyeli, Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi, 21(1), 193-203.
- Arulrajah A., Mohammadinia A., Horpibulsuk S., Samingthong W., 2016. Influence of class f fly ash and curing temperature on strength development of fly ash-recycled concrete aggregate blends, Construction and Building Materials, 127, 743-750.
- Bayrak O.Ü., 2007. Rijit üstyapı tasarımına yeni bir yaklaşım, Doktora tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Bilge T., 2011. Yüksek fırın cürufu katkısının kil zeminlerin stabilizasyonuna etkisinin araştırılması, Balıkesir

- Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir.
- Bilgen G., Kavak A., Çapar Ö.F., 2012. Düşük plastisiteli bir kilde katkı olarak çelikhane cürufunun kullanılması ve kireç ile etkileşimi, Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi, 2(2):30-38.
- Bilgen G., 2007. Yüksek fırın cürufu ile zemin stabilizasyonu. Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli.
- Bilgen G., Kavak A., Yıldırım S.T., Çapar Ö.F., 2010. Yüksek fırın cürufunun inşaat sektöründeki yeri ve önemi. 2'nci Ulusal Katı Atık Yönetimi Kongresi Bildirileri, Cilt 1: 506-513, Mersin.
- Cokca E., Yazıcı V., Özyayın V., 2009. Stabilization of expansive clays using granulated blast furnace slag (GBFS) and GBFS-cement. Geotechnical and Geological Engineering, 27: 489-499.
- Çakılcıoğlu İ., 2007. Yüksek plastisiteli killerin stabilizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- J. Emery, C. Kim, and R. Cotsworth, "Base Stabilization Using Pelletized Blast Furnace Slag," Journal of Testing and Evaluation 4, no. 1 (1976): 94-100.
- Gökalp İ., Uz V.E., Saltan M., and Tutumluer E., 2018. Technical and environmental evaluation of metalurgical slags as aggregate for sustainable pavement layer applications. Transportation Geotechnics, 14, 61-69.
- Gurer C., Akbulut H., Kurklu G., 2004. İnşaat endüstrisinde geri dönüşüm ve bir hammadde kaynağı olarak farklı yapı malzemelerinin yeniden değerlendirilmesi, 5'inci Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir, Türkiye.
- Güngör A.G., ve Sağlık A., 2008. Karayolları esnek üst yapılar projelendirme rehberi, Karayolları Genel Müdürlüğü, Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı, Ankara.
- Hausman M.R., 1990. Engineering principles of ground modification. International Edition, 321-335.
- Huang Y., Wang Q., and Shi M., 2017. Characteristics and reactivity of ferronickel slag. Construction and Building Materials, 156, 773-789.
- <http://www.birimfiyat.net>, 2020. Erişim tarihi Ocak 23, 2021.
- Karayolları Beton Yol Üstyapılar Projelendirme Rehberi, Türkiye, 2019.
- Kavak A., Bilgen G., 2005. Yüksek fırın cürufu ve kirecin katkı olarak kil üzerindeki etkileri ve yol yapımında kullanımının araştırılması, Geoteknik Sempozyumu, Adana.
- Kelly B.C., 2008. Geo-engineering properties of granulated blast furnace slag. International Conference on Geotechnical Engineering, Hammamet, Tunisia.
- Kılıç G., 2008. Çimento ile zemin stabilizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kodikara J., Yeo R., 2005. Performance evaluation of road pavements stabilized in situ, Editor: Zhang L. Elsevier Geo-Engineering Book Series, 409-443, Elsevier Science.
- Kuloğlu M., Özden G., Kayalar A., 2006. Çelik cürufularının dolgu malzemesi olarak kullanılabilirliği üzerine bir araştırma. Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği 11'inci Ulusal Kongresi 7-8 Eylül Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, 192-201.
- Mahmoud M.K., 2011. Fırın cürufu katkısının zeminlerin mühendislik özellikleri üzerine etkisi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir.
- Sivrikaya O., Yavascan S., Cecen E., 2014. Effects of ground granulated blast-furnace slag on the index and

- compaction parameters of clayey soils. Acta Geotechnica. 19-27.
- Tanyıldızı M.M, 2010. AASHTO metodunda rijit üstyapı beton kaplama kalınlığına etki eden parametrelerin irdelenmesi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.
- Tokyay M., Erdoğdu K, 2002. Cürüflar ve cürüflu çimentolar, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, Ankara.
- TS 1900-1, 2006. İnşaat mühendisliğinde zemin laboratuvar deneyleri-Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Tunç A, 2001. Yol malzemeleri ve uygulamaları. Türkiye.
- Yılmaz Y, 2013. Beton endüstrisinde sürdürülebilir üretim. Beton 2013 Kongresi Bildirileri, Cilt1: 145-155, İstanbul.
- Yılmaz.I, Yıldırım M., Keskin İ. (2017), Zemin Mekaniki Laboratuvar Deneyleri ve Çözümlü Problemler, Seçkin Kitabevi Ankara.



# Farklı Döşeme Tiplerine Sahip Betonarme Binaların Sismik Davranışı

Başak Zengin<sup>1</sup>, Pınar Usta<sup>2\*</sup>

<sup>1\*</sup> Nişantaşı Üniversitesi, Mimarlık ve Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-3719-9423), [zenginbasak@gmail.com](mailto:zenginbasak@gmail.com)

<sup>2\*</sup> Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye (ORCID: 0000-0001-9809-3855), [pinarusta@isparta.edu.tr](mailto:pinarusta@isparta.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 1 Haziran 2021 ve Kabul Tarihi 21 Ağustos 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.946539)

**ATIF/REFERENCE:** Basak, Z., & Usta, P. (2021). Farklı Döşeme Tiplerine Sahip Betonarme Binaların Sismik Davranışı. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (27), 171-176.

## Öz

Bu çalışmada döşeme tipinin betonarme bina davranışına etkisini incelemek için betonarme bir çerçevesiz bina plak döşeme ve tek doğrultuda çalışan dişli döşemeli olarak SAP2000 V21 programı ile modellenmiştir. Binanın deprem hesabı için Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2008)'de tanımlanan Deprem Düzeyi 2 seviyesine göre yapay deprem kaydı üretilmiştir. Üretilen deprem kaydı ile farklı iki tip döşemeye sahip binanın zaman tanım alanında doğrusal hesabı yapılmış ve binalara ait kat kesme kuvvetleri, kat öteleme değerleri, kat rijitlikleri, maksimum yer değiştirme değerleri elde edilmiştir. Nervürlü döşeme binasının deprem yüklerine karşı performansının plak döşemeye göre daha düşük olduğu görülmüştür. Deprem riski yüksek bölgelerde nervürlü döşeme sahip bina kullanımına dikkat edilmesi gerektiği, Özellikle tek doğrultuda çalışan dişli döşemeye sahip mevcut binaların mevcut yönetmeliklere göre yeniden ele alınması gerektiği bu çalışma ile ortaya konulmaya gayret edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Döşeme tipi, Bina Davranışı, Deprem.

## Seismic Analysis of Different Slab Types for Reinforced Concrete Structures

### Abstract

In this study, a reinforced concrete framed building was modeled with slab slab and unidirectional gear slab with the SAP2000 V21 program to examine the effect of slab type on the behavior of reinforced concrete buildings. For the earthquake calculation of the building, an artificial earthquake record was produced according to the Earthquake Level 2 level defined in the Turkish Building Earthquake Code (2008). With the earthquake record produced, linear calculations were made in the time history of the building with two different types of flooring, and the floor shear forces, floor drift values, floor stiffnesses, and maximum displacement values of the buildings were obtained. It has been observed that the performance of the ribbed slab building against earthquake loads is lower than that of the plate slab. It has been tried to reveal that the use of buildings with ribbed floors in areas with high earthquake risk should be considered, especially existing buildings with single-sided gear flooring should be reconsidered according to current regulations with the present study.

**Keywords:** Slab type, Building behavior, Earthquake.

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

## 1. Giriş

Şiddetli deprem tehlikesi altında bulunan ülkelerden birisidir. Türkiye’de bulunan yapılar yıllardır buldukları yer itibari ile çok sayıda depreme maruz kalmıştır. Özellikle son depremlerde birçok betonarme yapının ciddi şekilde hasar gördüğü veya çöktüğü görülmüştür. Bu durum mevcut binaların ve yeni yapılacak binaların sismik yeterliliğinin detaylıca değerlendirilmesi ihtiyaç olduğunu göstermektedir. Türkiye’de son yüzyıl içerisinde büyüklüğü 6 ve daha fazla olan deprem sayısı 56’dır. Meydana gelen bu depremler sonucunda ortaya çıkan hasarlar oldukça fazladır. Öyle ki; depremler sonrası hasarların karşılanması için her yıl milli gelirimizin %0.8’i kullanılmaktadır (Usta ve Bozdağ, 2021). Bu depremlerden önemli birkaçı Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Son Yıllarda Türkiye’de meydana gelen depremlerden bazıları (Aral ve Tunç, 2021)

Bölge	Tarih	Lokal Mag. $M_L$	Can Kaybı	Yaralı Sayısı
Şenkaya/Erzurum Sarıkamış/Kars	30.10.1983	6.6	1.115	537
Erzincan	13.03.1992	6.6	653	3.850
Dinar, Evciler (Afyon)	01.10.1995	5.9	90	240
Salhançayı (Çorum-Amasya)	14.08.1996	5.4	0	0
Ceyhan (Adana)	28.06.1998	6.2	145	1.500
Gölcük (Kocaeli)	17.08.1999	7.6	17.480	23.781
Düzce-Bolu	12.11.1999	7.2	710	2.679
Sultandağı (Afyon)	03.02.2002	6.5	42	150
Merkez (Bingöl)	01.05.2003	6.4	176	520
Simav (Kütahya)	19.05.2011	5.7	2	79
Merkez (Van)	23.10.2011	6.7	644	1.966
Sivrice (Elazığ)	24.01.2020	6.8	44	1.607
İzmir ve çevresi	20.10.2020	6.6	115	1.035

Yıllar geçtikçe, betonarme binalar daha ince ve daha hafif bir forma dönüşmüş dolayısıyla da deprem, rüzgar gibi sismik titreşimlere daha duyarlı hale gelmiştir (Middleton ve Bownjohn, 2010). Özellikle son depremlerde birçok betonarme binanın ciddi şekilde hasar gördüğü veya çöktüğü görülmüştür. Bu durum mevcut binaların ve yeni yapılacak binaların sismik yeterliliğinin detaylıca değerlendirme ihtiyacına işaret etmiştir.

Döşeme, binanın ana yükünü alan, bina sakinleri ile doğrudan temas halinde olan ve bu nedenle titreşime maruz kalan, ilave sabit ve hareketli yükleri taşıyan yapısal elemanlardır. (Costa ve Araújo, 2014; Arman, 2014). Binadaki düşey ve yatay yükleri (deprem vb.) binaların düşey taşıyıcı elemanlarına aktaran döşemeler kalınlıkları diğer iki boyutu yanınada ihmal edilebilir, bu nedenle iki boyutlu olarak kabul edilebilir. Ayrıca, aynı katların eşit yerdeğiştirme ve dönme yapmalarını sağlamaları nedeniyle, analizlerde dikkate alınan rijit diyafram kabulünü destekleyen elemanlardır. Döşeme elemanları binalar, yollar ve köprülerde kullanılmaktadır (Bikçe ve Akyol, 2017).

Nervürlü döşemeler birbirine yakın aralıklı kiriş serisi ile dökülen ve bir dizi kiriş tarafından desteklenen döşemelerdir. Nervürlü döşemelerde tarafsız eksenin altındaki betonun bir kısmının kaldırılması ile ağırlıkta azalma olmaktadır. Nervürlü döşemeler hafif veya orta ağırlıklı binalarda ekonomik çözüm sağlamaktadır (Malviya ve Tiwari, 2020). Nervürlü döşemeler, düz levhaya kıyasla daha hafif ve daha sert bir levhadır. Levha titreşiminin bir sorun olduğu yerlerde çok mükemmel çalışırlar. Nervürlü döşeme bölümleri, dar kirişlerin birbirine dik yönde

kesiştigi ve üzerinde ince bir levhadan oluşur. Nervürlü tip plakaların avantajları esnek, orta derecede hafif, daha uzun açıklıklar için ekonomik olması, konstrüksiyonun hızlı olması, ince zemin derinlikleri, sağlamlık, mükemmel titreşim kontrolüdür (Bağ vd., 2021).

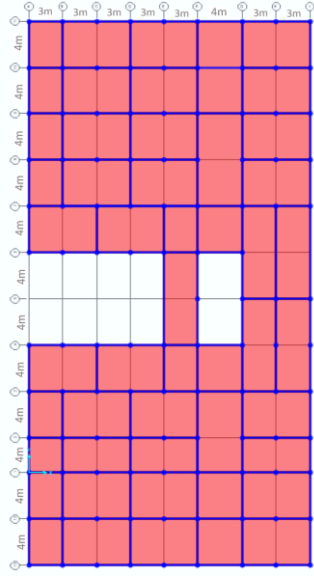
Bina yükleri ve açıklıklar kullanılacak döşeme tipi seçiminde etkilidir. Döşeme tek ve çift yönlü olarak sınıflandırılabilir. Tek yönlü döşeme düz döşemenin en basit biçimlerindedir. Fakat düşük verimliliği ve ağırlığı nedeniyle yalnızca küçük açıklık (4,6 m’ye kadar) için ekonomik olarak kabul edilirler (Timo vd., 2014) Depremler sırasında yapıya etkileyen düşey ve yatay kuvvetlere karşı dayanıklı olması amaçlanan binanın temel bir parçası olan döşemeler ile ilgili literatürde yapılmış çalışmalar bulunmaktadır. Yapılan çalışmalarda döşeme tiplerinin yapılar üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bu çalışmalardan bazıları aşağıdaki gibidir; Qian vd., (2013) yaptıkları çalışmada nervürlü döşemelerde deprem yükünün aktarımı incelemiştir ve mevcut nervürlü döşemenin geliştirilmesine yönelik iyileştirme çalışmaları yapmışlardır. Priya vd. (2012) SAP2000 sonlu elemanlar programında kirişsiz döşemeli yapıları modellemiştir ve üzerinde statik itme analizi uygulayarak statik itme eğrisi ile talep eğrisi elde etmişlerdir. Çalışma sonucunda mevcut yapının güçlendirilmesine ilişkin daha net karar verilebileceği belirtilmiştir. Bhina vd. (2013) boyutları aynı kirişsiz döşemeli ve betonarme çerçeveye sahip simetrik binaları farklı sismik etkiler altında incelenmiş ve betonarme çerçeveli binaların sismik performansının kirişsiz döşemeli binalara göre daha iyi olduğunun sonucuna ulaşmışlardır. Thomas vd., (2017) Farklı döşeme tipleri için yanal yüklemeye altında diyafram durumunu analitik ve deneysel çalışmalarla değerlendirmiştir. Çalışma sonucunda diyafram durumunun farklı döşeme sistemlerine sahip binaların en boy oranına ve yüksekliğine bağlı olarak değiştiği ve daha küçük en-boy oranına ve yüksekliğe sahip binada hem statik hem de dinamik analizde daha iyi sonuçlara ulaşıldığı belirtilmiştir. Malviya ve Tiwari (2021) çalışmasında farklı yüksekliklere sahip iki binayı sonlu elemanlar programı ile modellemiştir ve tepki spektrumu analizi ile farklı döşeme tiplerinin deprem etkisi altında yapısal davranışını araştırmışlardır.

## 2. Yapının Özellikleri ve Modellenmesi

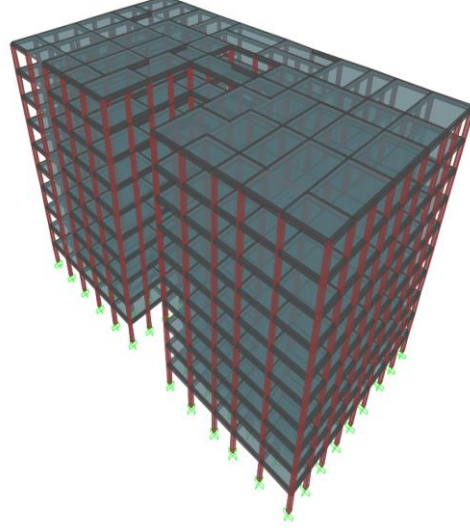
Bu çalışmada sismik yükler etkisi altında döşeme tiplerinin bina deprem performansına etkisini incelemek ve bina deprem performansını karşılaştırmak amaçlanmıştır. Bu amaçla kat sayısı 10 olan bir betonarme çerçeveli bina seçilmiştir. Seçilen bina plak döşemeli model (PD) ve Nervürlü Döşemeli model (ND) olarak tasarlanmıştır. Betonarme bina SAP2000 (v21) sonlu elemanlar programı kullanılarak iki farklı şekilde modellenmiştir. Bina taşıyıcı elemanları yönetmeliklere uygun olarak tasarlanmıştır. Kat yüksekliği 3m, binanın bir yönde uzunluğu 39 m, diğer yönde ise 25 m dir. Modellenen binalarda beton ve donatı sınıfı olarak C30-B420C kullanılmıştır. Plak döşemeli modelde kolonların ve kirişlerin boyutları her katta aynı olup sırası ile 0.35x0.30 m-0.4x0.30 m olarak belirlenmiştir. Nervürlü döşemeli modelde kolon, kiriş boyutları her katta aynı olup sırası ile 0.4x0.35 m-0.4x0.35 m olarak belirlenmiştir. Burada kolon kiriş boyutları aynı mı, anlaşılıyor Döşeme kalınlıkları 0,15 m olarak tanımlanmıştır. Bina önem katsayısı I=1.0 olan bu binaların ZB yerel zemin sınıfı üzerinde inşa edildiği kabul edilmiştir. Çerçeve sisteme sahip model için taşıyıcı sistem davranış katsayısı R = 8 olarak alınmıştır. Döşemeler üzerinde düzgün yayılı yük olarak 1.5 kN/m<sup>2</sup> sabit yük (sıva+kaplama) ve 2 kN/m<sup>2</sup> hareketli yük

dikkate alınmıştır. Kirişler üzerinde 3 kN/m<sup>2</sup> duvar yükü (tuğla+sıva) öngörülmüştür. Hareketli yük katılım sayısı  $n=0.3$  alınmıştır. Elemanların öz ağırlıkları Sap2000 sonlu elemanlar programına tanımlanarak alınmıştır. Sap2000 programında modeller oluşturulurken kiriş ve kolonlar çubuk eleman, kat döşemeleri shell elemanlar ile modellenmiştir. Modellemelerde

döşeme, kirişleri ve nervürü temsil etmek için çubuk elemanlar ile bölünmüştür. Çubuk ve kabuk elemanlar bir ya da daha fazla elemanın kesitini tanımlamaktadır. Her bir çubuk elemanın, kesit özelliklerini ve yüklerini tanımlamak için kullanılan kendi yerel koordinat sistemi vardır. Modellenen binaların kat planları Şekil 1 ve Şekil 2’de verilmiştir.

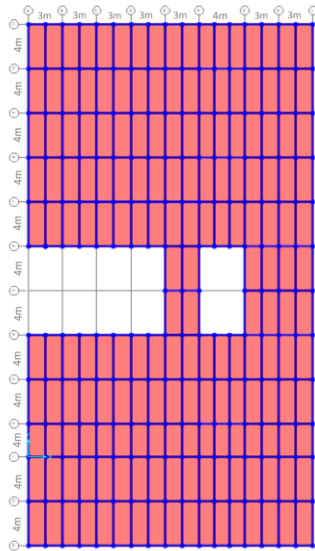


a) Kat Planı

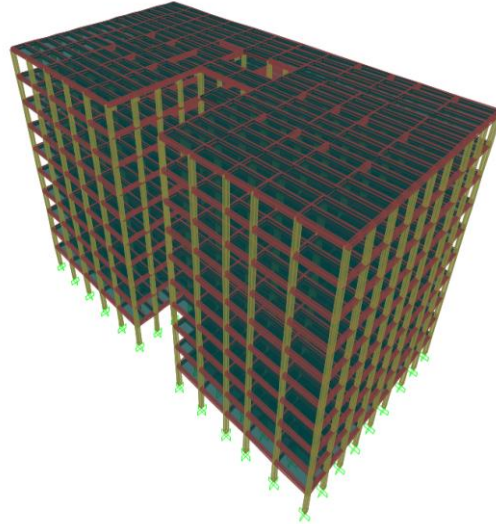


b) Plak Döşemeli model (PD)

Şekil 1. Betonarme Yapının Kat planı ve 3 boyutlu modeli



a) Kat Planı



b) Nervürlü Döşemeli model (ND)

Şekil 2. Betonarme Binanın Kat planı ve 3 boyutlu modeli

Şekil 1 ve 2’de gösterilen bina, bir yönde 12 eşit açıklığa ve diğer yönde 8 açıklığa sahiptir. Binalar aynı kat alanlarına sahip olmakla birlikte simetriktir ve her kat 3 metre yüksekliğe sahiptir. İlk model Plak Döşeme ile modellenmiştir. Karşılaştırma amacıyla aynı bina Nervürlü Döşemeye sahip bir şekilde benzer koşullar altında tasarlanmış ve analiz edilmiştir.

### 3. Analiz ve Değerlendirmeler

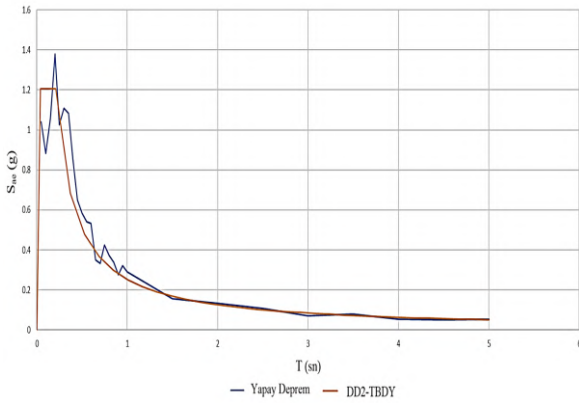
Çalışmada tasarlanan binaların analizleri TBDY 2018 yönetmeliğinde tanımlı DD2 deprem düzeyine göre yapılmıştır. Reponse Spektrum analiz yöntemi kullanılarak binaların üç



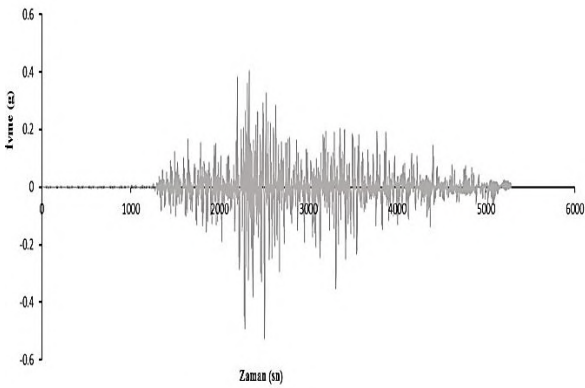
boyutlu hesap modelleri SAP2000 sonlu elemanlar programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

DD-2 Deprem Yer Hareketi, spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %10 ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 475 yıl olduğu seyrek deprem yer hareketini nitelemektedir. Bu deprem yer hareketi, standart tasarım deprem yer hareketi olarak da adlandırılmaktadır. Sismik tasarım kodları, sistemin elastik davranışını sürdürmesini ve elastik davranışını koruyarak hasar görmemesini gerektirir. Ayrıca, binanın küçük yapısal hasarlara maruz kalmasının beklendiği 50 yıllık geri dönüş süreli daha büyük depremlere maruz kaldığında binanın sismik tepkisini tahmin etmek için de kullanılabilir.

Doğrusal Olmayan zaman tanım alanında analiz için SAP2000 (v21) yazılımında DD-2 deprem seviyesi tepki spektrumu ile uyumlu olacak şekilde SAP2000 yapay deprem kaydı oluşturulmuştur. TBDY DD-2 davranış spektrumu ve yapay olarak oluşturulmuş tepki spektrumu Şekil 3'te gösterilmektedir. Yapay deprem ivme-zaman grafiği ise Şekil 4'te gösterilmiştir.



Şekil 3. TBDY2018 tasarım spektrumu ve yapay olarak oluşturulan tepki spektrumu



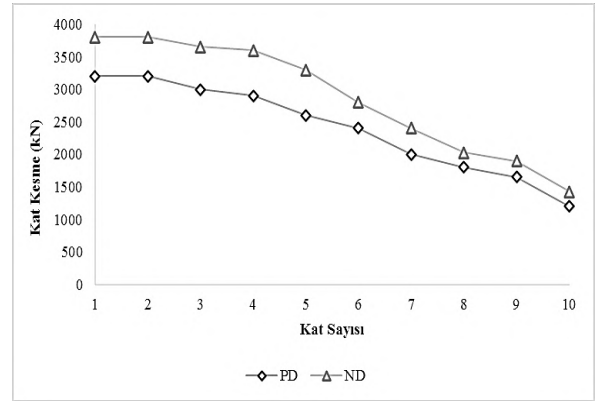
Şeki 4. DD2 seviyesine göre oluşturulan Yapay depremin ivme-zaman grafiği

#### 4. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Yapı elemanlarındaki yer değiştirmeler, iç kuvvetler ve plastik davranışa sahip elemanların sünekliği, yapıların sismik tepki parametrelerini doğrudan etkilemektedir. Tepe noktası yanal yer değiştirmesi ve katlar arası yanal yer değiştirme (görelî kat ötelemesi), binalardaki döşeme sistemleri için birincil öneme sahip sismik tepki parametresidir. Büyük yer değiştirme değerleri, e-ISSN: 2148-2683

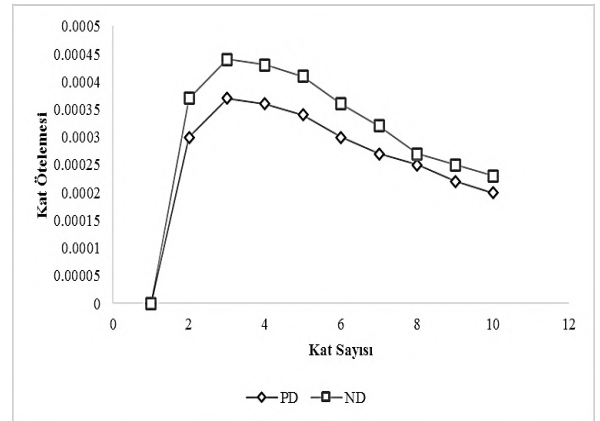
yapıların stabilitesini ve direncini etkileyebilmektedir. Nervürlü Döşeme sistemleri, katlar arası ötelenmeyi ve yer değiştirmeyi plak döşeme sistemine göre azaltabilmektedir. Ancak burada nervürlü döşemenin daha ağır kütleli olduğunu ve deprem kuvvetlerinin nervür döşemeli sistemlerde daha fazla olduğunu da belirtmek gerekir

Plak Döşemeli betonarme bina ve Nervürlü Döşemeye sahip betonarme binaların zaman tanım alanında doğrusal analizi yapılmıştır. Plak döşeme için elde edilen maksimum eğilme momentleri ve kesme kuvveti sırasıyla 98.69 kN-m ve 92.86 kN iken, Nervürlü döşemede maksimum eğilme momenti 156.45 kN-m ve maksimum kesme kuvveti 128.11 kN olarak bulunmuştur. Ayrıca yapılar ait kat kesme kuvvetleri, kat öteleme değerleri, kat rijitliği, maksimum yer değiştirme değerleri elde edilmiştir. Elde edilen değerler grafikler sırasıyla Şekil 5, Şekil 6, Şekil 7 ve Şekil 8'de gösterilmiştir.



Şekil 5. plak döşeme ve nervürlü döşemeli betonarme binanın kat kesme kuvvetleri

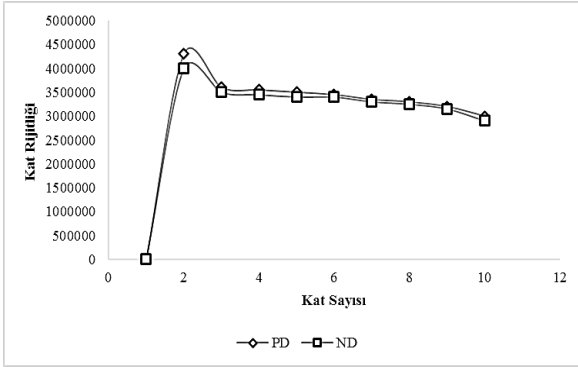
Binanın katlarına gelen kesme kuvvetleri incelendiğinde daha fazla ağırlığa sahip olan nervürlü döşeme yapısında plak döşeme yapısına kıyasla daha fazladır.



Şekil 6. plak döşeme ve nervürlü döşemeli betonarme binanın kat ötelemesi

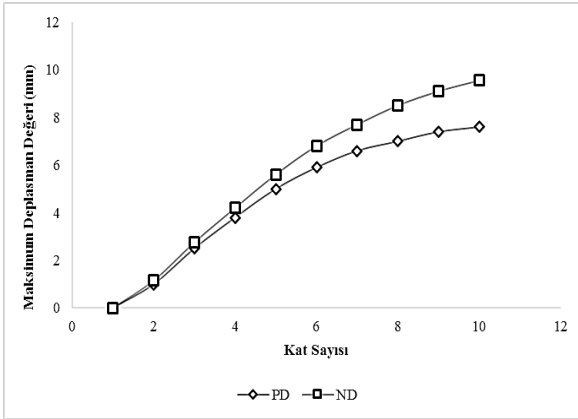
Her iki binadan elde edilen görelî kat ötelemesi değerleri incelendiğinde binalardan elde edilen değerlerin yönetmelikte izin verilen maksimum etkili kat ötelemesi oranı sınır değerler içerisinde kaldığı görülmektedir. Bunu gösterelim Maksimum etkin görelî kat ötelemesi oranı her iki döşeme yapısına sahip binada modellerin 3. katında meydana gelmiştir. Değerleri plak döşemede 0.00036, nervürlü döşemeli yapıda ise 0.00043 olarak hesaplanmıştır. Bu değerleri tabloda gösterelim Nervürlü

döşemeden elde edilen etkin görel kat ötelemesi değerleri geleneksel yapıdan elde edilen değerlere yakın olmakla birlikte daha fazladır.



Şekil 7. plak döşeme ve nervürlü döşemeli betonarme binanın kat rijitliği

Kat rijitliği, nervürlü döşeme yapısında daha az kolon olduğundan normal döşeme yapısı için biraz daha fazladır. En büyük kat rititliği modellerin 1. katında meydana gelmiştir ve değeri plak döşeme için 4300000 kN/m, nervürlü döşeme için ise 4000000 kN/m olarak hesaplanmıştır.



Şekil 8 plak döşeme ve nervürlü döşemeli betonarme binanın tepe noktası maksimum yer değiştirme değeri

Her iki binadan elde edilen maksimum yer değiştirme değerleri kıyaslandığında diğer değerlere benzer şekilde nervürlü döşemede maksimum yer değiştirme değeri daha yüksek bulunmuştur.

## 5. Sonuç

Ülkemiz kara alanının yaklaşık %92'si zarar verici seviyelerde sismik tehlikeye karşı hassastır. Gelecekteki depremlerden kaçınamayız, fakat hazırlıklı olma ve güvenli bina inşaat uygulamaları ile hasar ve kayıpların boyutunu azaltabiliriz.

Bu çalışmada; betonarme yapıların taşıyıcı sistemlerinde betonarme döşeme elemanlarının yapıların deprem performansına etkileri incelenmiştir. 10 katlı bir betonarme çerçevesel bina plak ve nervürlü döşeme olmak üzere iki farklı şekilde Sap2000 sonlu elemanlar programında modellenmiştir. Hesaplar için DD-2 seviyesine göre yapay deprem kaydı oluşturulmuş ve binaların doğrusal zaman tanım alanında analizleri yapılmıştır. Modellerde kolon ve kirişler için yönetmelikte belirtilen rijitlikler kullanılmıştır.

Modeller değerlendirildiğinde plak döşemeye sahip model, nervürlü döşemeli model ile kıyaslandığında daha yüksek rijitliğe sahiptir.

Nervürlü bir döşeme yapısı üzerindeki yanal yükler, kendi ağırlığının artması nedeniyle plak döşeme yapısına göre daha fazladır.

Plak döşemeli sistemelerin, yüksek diyafram rijitliğine, gerekli yanal direnç ve ötelenme rijitliğine sahip olması yapının sünekliliğine önemli mertebelerde etki etmektedir ayrıca bu durum modal analiz sonuçlarını da etkilemektedir. Nervürlü döşemeler plak döşemeler ile kıyaslandığında farklı rijitliğe sahiptir ve daha ağırdır. Diş doğrultusunda yeterli rijitlik söz konusu iken dişe dik doğrultudaki kirişlere dişler oturmadığından bu yönde yeterli rijitliğin sağlanmasında sorun yaratabilecektir.

Nervürlü döşemeye sahip binada deprem yüklerinden oluşan kat kesme kuvvetleri plak döşemeli binaya kıyasla %22 artmıştır. Nervürlü döşeme binasının kendi ağırlığı plak döşemeli binaya göre daha fazla olduğundan bu modele gelen deprem kuvvetleri daha fazla olmuştur. Nervürlü döşeme binasında maksimum yatay yer değiştirme plak döşeme binasının %23'ü kadar artmıştır.

Çalışmadan elde edilen sonuçlar dikkate alındığında deprem bölgelerinde nervürlü döşemelerin deprem yüklerine karşı iyi bir performans sergileyemediği sonucuna varılmıştır. Bu bölgelerde deprem yükleri plak döşemelerin kullanımı ile daha güvenle karşılanabilir. Ancak binanın çeşitli yöntemlerle güçlendirilmesi ile nervürlü döşemeli binaların deprem performansını artırılabilceği göz ardı edilmemelidir.

## Kaynakça

- Aral, M., & Tunç, G., (2021). Türkiye'de Deprem Performansına Dayalı Bina Kimlik Bilgilerinin Oluşturulmasına Yönelik Çalışma ve Öneriler. Afet ve Risk Dergisi, 4(1), 20-41.
- Arman, I.M. (2014). Analysis of two-way ribbed and waffle slabs with hidden beams. International journal of Civil and Structural Engineering, 4(3), 342-352.
- Baig, M. M., Rashid, A., Reddy, Y., & Krishna, T. V. (2021). A comparative study on seismic analysis of G+ 6 building with ribbed slab & conventional slab using SAP2000 software. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 1112(1), 012026.
- Bhina, M.R., Banerjee, A., & Paul, D.K., (2013). Assessment of different aspects of RC flat-slab building over normal RC frame building, International Conference on Structural Engineering and Construction Management, At Sri Lanka.
- Bikçe, M., & Akyol, B. (2017). Tasarlanmış gerçek yapılarda asmolon/plak döşeme dönüşümünün yapı maliyetine etkisi. *Firat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 29(1), 133-144.
- Costa, Y., & Araújo, T. (2014). Evaluation of dynamic behavior of waffle slab to gym center. Latin American Journal of Solids and Structures, 11(7), 1114-1131.
- Malviya, S., & Tiwari, M. (2020). Behaviour of Flat Slab, Waffle Slab, Ribbed & Secondary Beam in a multistorey Building under Seismic Response: A Review. 8, 986-992.
- Middleton, C.J., Brownjohn, J.M.W., (2010). Response of frequency floors: a literature review. Engineering Structures, 32, 337-352.
- Priya, K.S., Durgabhavani, T., Mounika, K., Nageswari, M., & Poluraju, P. (2012). Non-linear pushover analysis of flat slab

- building by using SAP2000, International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE), 1(1), 29-33.
- Qian, K., Dong, G. Y., Zhang, J., & Yuan, Q. (2013). Study on the Effect of Grid Beam on Seismic Performance of Improved Multi-Ribbed Slab Structure. In *Advanced Materials Research*.724, 1754-1758.
- Thomas, E., George, J., & Paulose, D. (2017). Assessment of the Diaphragm Condition For The Floor Systems. 4(6), 836-843.
- Timo K. T., & S. Ali Mirza. (2014). Effective Length of Reinforced Concrete Columns in Braced Frames. *International Journal of Concrete Structures and Materials*, 8(2), 100–106.
- Usta, P., & Bozdağ, Ö. (2021). Tarihi Başdurak Camisinin Deprem Analizi. *Pamukkale Univ Muh Bilim Derg.*; 27(3): 244-250 | DOI: 10.5505/pajes.2020.31384



# PAMPSA Yüklendiş Polianilin Kullanılarak Sulu Ortamdan Naproksen Giderimi

Adem Sarihan<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> Bilecik Şeyh Edebalı Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, Kimya Teknolojisi Bölümü, Bilecik, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-1809-7034),  
[adem.sarihan@bilecik.edu.tr](mailto:adem.sarihan@bilecik.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 8 Haziran 2021 ve Kabul Tarihi 21 Ağustos 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.949645)

**ATIF/REFERENCE:** Sarihan, A. (2021). PAMPSA Yüklendiş Polianilinin Sulu Ortamdan Naproksen Giderimine Etkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (27), 177-185.

## Öz

Bu çalışmada adsorban olarak 2-akrilamido 2-metil 1-propan sülfonik asit (PAMPSA) yüklendiş polianilinin kullanılarak sulu ortamdan naproksen giderimi incelenmiştir. Adsorban miktarı (0.025-0.3 g/50 ml), pH(3-9), temas süresi (1-1440 dk), başlangıç konsantrasyonu (20-150 ppm) ve sıcaklık (25-50 °C) parametreler olarak seçilmiştir. Adsorbanın morfolojik yapıları SEM, fonksiyonel grup analizleri FT-IR, minerolojik içerikleri XRD teknikleri kullanılarak belirlenmiştir. pH 7, 25°C sıcaklık, 30 dk temas süresi, 0.05 g/50 ml adsorban miktarı ve 150 ppm en uygun koşullar için adsorpsiyon prosesi maksimum giderim veriminin %68.99 olduğu tespit edilmiştir. Optimum koşullardaki adsorpsiyon kapasitesi 103,5 mg/g olarak hesaplanmıştır. Adsorpsiyon kinetiğinin yalancı II. derece kinetik modelle eşleştiği belirlenmiştir. PAMPSA Yüklendiş Polianilin üzerine NPX adsorpsiyonunun Langmuir, Freundlich, Temkin ve Harkins-Jura izoterm modellerine uyduğu belirlenmiştir. Temkin  $R^2=0.99 > Freundlich R^2=0.97 > Langmuir R^2=0.95 > Harkins-Jura R^2=0.86$  dir. NPX adsorpsiyonunun en iyi Temkin izoterm modeline uyduğu belirlenmiştir. Negatif  $\Delta H^\circ$  değeri adsorpsiyon prosesinin ekzotermik olduğunu, pozitif  $\Delta S^\circ$  değerinin katı/çözelti arayüzünde adsorpsiyon işlemi sırasında rastgele bir artış olduğunu ve pozitif  $\Delta G^\circ$  değeri ise adsorpsiyon prosesinin kendiliğinden meydana gelmediğini göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Naproksen, Polianilin, PAMPSA, Adsorpsiyon

## The Removal of Naproxen from Aqueous Media by Using PAMPSA Doped Polyaniline

### Abstract

In this study, the removal of naproxen from aqueous media was investigated using PAMPSA doped Polyaniline as adsorbent. Adsorbent amount (0.025-0.3 g / 50 ml), pH (3-9), contact time (1-1440 min), initial concentration (20-150 ppm) and temperature (25-50 ° C) were selected as parameters. The characterization of the adsorbent performed by using SEM (morphological analysis), FT-IR (functional group analysis) and XRD (minerological contents) techniques. The maximum removal efficiency of the adsorption process was found to be 68.99% for pH 7, 25 ° C temperature, 30 min contact time, 0.05 g / 50 ml adsorbent amount and 150 ppm optimum conditions. The adsorption capacity under optimum conditions is calculated as 103.5 mg/g. It was determined that the adsorption kinetics matched with the pseudo-second order kinetic model. It has been determined that NPX adsorption on PAMPSA doped Polyaniline fits the isotherm models of Langmuir, Freundlich, Temkin and Harkins-Jura. Temkin  $R^2 = 0.99 > Freundlich R^2 = 0.97 > Langmuir R^2 = 0.95 > Harkins-Jura R^2 = 0.86$ . It was determined that NPX adsorption best fit the Temkin isotherm model. The negative  $\Delta H^\circ$  value indicates that the adsorption process is exothermic, the positive  $\Delta S^\circ$  value indicates a random increase during the adsorption process at the solid/solution interface, and the positive  $\Delta G^\circ$  value indicates that the adsorption process does not occur spontaneously.

**Keywords:** Naproxen, Polyaniline, PAMPSA, Adsorption

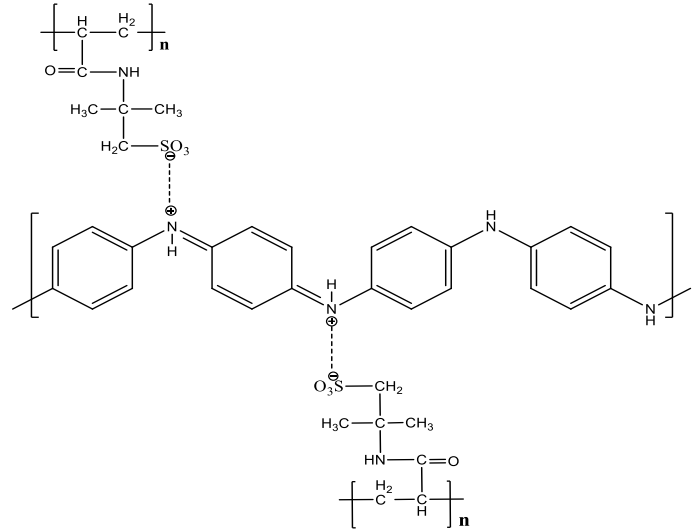
\* Sorumlu Yazar: [adem.sarihan@bilecik.edu.tr](mailto:adem.sarihan@bilecik.edu.tr)

## 1. Giriş

Dünya nüfusunun hızlı artışı ve kısıtlı kaynaklar endüstriyelleşmenin büyümesini kaçınılmaz hale getirmiştir (Zhou, 2009). Buna bağlı olarak yaşam alanlarının endüstriyel alanlar haline gelmesi, sağlıklı gıdaların yetersizliği ve bu gıdalara ulaşabilmenin zorlukları, hızlı ve stresli yaşam gibi birçok sebepten dolayı insanlarda hastalanma oranları sürekli yükselmektedir (Szreter, 2004). Öte yandan olağan süreçlerin yanı sıra olağan dışı (bir yıldan fazla süredir devam eden Covid-19 salgını gibi) pandemi durumları da hastalanma süreçlerinde ani ve çok önemli oranlarda artışa sebep olmaktadır. Hastalanma oranlarındaki artış sebebiyle, artan küresel ilaç üretimi ve yüksek miktarda ilaç tüketimi ise doğal su kaynaklarının, içme sularının ve atık suların farmasötik bileşenler tarafından kirlenmesine sebep olmakta ve bu durumu önemli bir çevre sorunu haline getirmektedir (Zhou, 2009; Szreter, 2004). Farmasötik bileşenler içerisinde ağrı kesici ve ateş düşürücü etkisi olan “nonsteroid antiinflamatuar” ilaçlar en yaygın olarak kullanılan ve en yüksek çevre kirliliği riskine sahip ilaç grubudur (Lach & Szymonik, 2019). Naproksen sodyum ( $C_{14}H_{13}NaO_3$ ), bu grup içerisinde en çok tüketilen ilaç aktif maddesinden birisidir (Boyd, Zhang & Grimm, 2005; Qurie et al., 2013). Canlılar üzerinde yapılan çalışmalar, naproksen sodyumun özellikle su canlılarını olumsuz etkilediği, embriyo ve larvalar için düşük dozların bile ölümcül olabildiği (Górny, Guzik, Hupert-Kocurek & Wojcieszynska, 2019); Ding et al., 2017) ve hatta canlıların genetik yapılarına zarar verebilme riskinin de olduğu belirlenmiştir (Ahmad, Fatima, Hossain & Mondal, 2018). Dolayısıyla naproksen sodyumunun canlı organizmalarını olumsuz yönde etkileyebilme ve doğal çevrede bulunan canlılar için bir tehdit oluşturabilme potansiyeli bakımından etkili bir çevre kirlenme ajanı olduğu düşünülmektedir. Bu nedenlerden dolayı naproksen sodyumun sulu ortamlardan giderimi oldukça önemli ve dikkat çekicidir. Naproksen sodyumun sulu ortamlardan giderimi için literatürde, klorinasyon (Noutsopoulos et al., 2015), elektrokimyasal oksidasyon (Feng, van Hullebusch, Rodrigo, Esposito & Oturan, 2013), biyo-filtrasyon (Binelli et al., 2014) ve adsorpsiyon (Kucuk & Sarısakal, 2020) gibi birçok teknik kullanılmıştır. Bu metotlar içerisinde adsorpsiyon, kolay uygulanabilir, ekonomik ve etkili giderim potansiyeli avantajları ile önemli bir yere sahiptir (Kızıltaş, 2021).

Polianilin (PANI) nispeten ucuz bir monomerden kolayca sentezlenebilir ve düşük maliyetli olma gibi özelliklere sahip önemli bir polimerik materyaldir. Polianilin, çeşitli asitlerle yüklenerek iletken özellik kazanmakta ve bu sayede daha fonksiyonel hale gelmektedir. Özellikle büyük moleküllü organik veya polimerik asitlerle yüklenen Polianilin iletken özelliğinin yanı sıra yüksek kimyasal ve morfolojik kararlılık da kazanarak daha da işlevsel özellikler kazanmaktadır (Sarihan et al., 2019). 2-akrilamido 2-metil 1-propan sülfonik asit (PAMPSA), yapısındaki sülfü grupları sayesinde Polianilin ile kuvvetli etkileşimler kurabilme potansiyeline sahiptir ve bu nedenle Polianilin yüklenmesi için ideal bir polimer asittir (Sarihan, 2020). PAMPSA yüklenmiş Polianilin, yapısında bulunan çok sayıda amin, imin, sülfü, karbonil gibi fonksiyonel gruplara sahiptir. Bu fonksiyonel gruplar sayesinde asit yüklenmiş Polianilin ilaç aktif maddeler gibi birçok organik bileşik ile etkileşim kurabilme potansiyeline sahip bir polimerik yapıdır (Bajpai & Bhowmik, 2010) (PAMPSA yüklenmiş Polianilin polimerinin kimyasal yapısı Şekil 1’de verilmiştir).

PAMPSA yüklenmiş Polianilin, iletken yapısı ve yapısındaki fonksiyonel gruplar sayesinde naproksen sodyumun sulu ortamdan gideriminde kullanılabilir potansiyel bir adsorban olarak görülmektedir. Literatürde naproksen sodyum veya herhangi bir ilaç aktif maddesinin gideriminde PAMPSA yüklenmiş Polianilin yapısının kullanıldığı bir çalışmaya rastlanmamıştır. Dolayısıyla bu çalışmada PAMPSA yüklenmiş Polianilin naproksen sodyumun sulu ortamlardan giderilmesine etkisi incelenmiştir.



Şekil 1. PAMPSA yüklenmiş Polianilin kimyasal yapısı

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Materyal

Monomer, yükleme asidi ve yükseltgen olarak PAMPSA yüklenmiş Polianilin sentezinde kullanılan Anilin, PAMPSA ve Amonyum persülfat Sigma-Aldrich firmasından temin edilmiştir. Naproksen sodyum (NPX) Abdi İbrahim ilaç firmasından tedarik edilmiştir. pH çalışmaları için NaOH ve HCl kimyasalları kullanılmış ve pH ölçümleri standart bir pH metre (HANNA HI 991001) yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kullanılan tüm kimyasallar analitik derecedir ve tüm çalışmalar ultra saf su kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

### 2.2. Metot

PAMPSA yüklenmiş Polianilin sentezinde oksidatif polimerizasyon tekniği kullanılmıştır ve polimerizasyon sürecinin ayrıntıları önceki çalışmamızda verilmiştir (Sarihan et al., 2019).

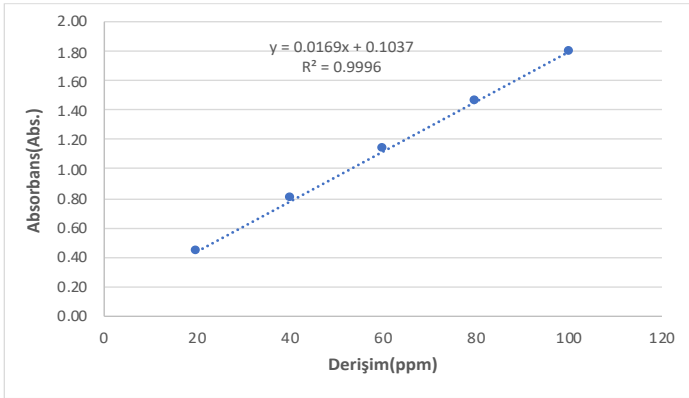
1000 ppm Naproksen sodyum standart stok çözeltisi, istenilen konsantrasyonlara seyreltilerek kullanılmıştır. Adsorpsiyon kinetikleri, 25 °C’de 50 ppm başlangıç NPX konsantrasyonunda farklı pH (3, 5, 7, 9), temas süresi (1,5, 10, 15, 30, 60, 120, 180, 300, 1440 dk) ve adsorban miktarı (0.025, 0.05, 0.1, 0.2, 0.3 g/50 ml) incelenmiştir. Farklı sıcaklıklarda (25°C, 35°C ve 50°C) ve başlangıç naproksen konsantrasyonları (20, 50, 100 ve 150 mg/L) çalışılarak adsorpsiyon izotermeleri araştırılmıştır. Adsorpsiyon deneyleri 300 rpm ve 25 °C ± 1 °C’de, istenilen konsantrasyonda hazırlanan NPX çözeltisi ve adsorant içeren 50 ml’lik santrifüj tüpünde gerçekleştirilmiştir. Adsorpsiyon işleminden sonra solüsyonlar falkon tüplerine alınarak 3000 rpm’de 4 dakika santrifüjlenmiştir. Süzüntü bir şırınga yardımıyla alınarak UV spektrofotometre (Cary 60) yardımıyla 272 nm’de NPX konsantrasyonu belirlenmiştir. Tüm deneyler üç kez tekrarlanmıştır.

Maksimum absorbans ( $\lambda_{max} = 272 \text{ nm}$ ) değerleri, farklı dalga boylarında (200-1000 nm) standart NPX solüsyonlarının absorbansı taranarak belirlenmiş ve kalibrasyon eğrisi çizilmiştir (Şekil 2). NPX' in giderim verimliliği ve adsorpsiyon kapasitesi Eşitlik 1 ve 2'ye göre hesaplanmıştır.

$$q_e = ((C_i - C_e) * V) / m \quad (1)$$

$$\text{Giderim (\%)} = (C_i - C_e) / C_i \times 100 \quad (2)$$

Eşitlik 1 ve 2 'de,  $q_e$ (mg/g): Denge anında adsorpsiyon kapasitesi, V(L): naproksen solüsyonu hacmi, m(g): adsorban miktarı,  $C_i$ (mg/L): NPX' in başlangıç konsantrasyonu,  $C_e$ (mg/L): NPX' in denge konsantrasyonu

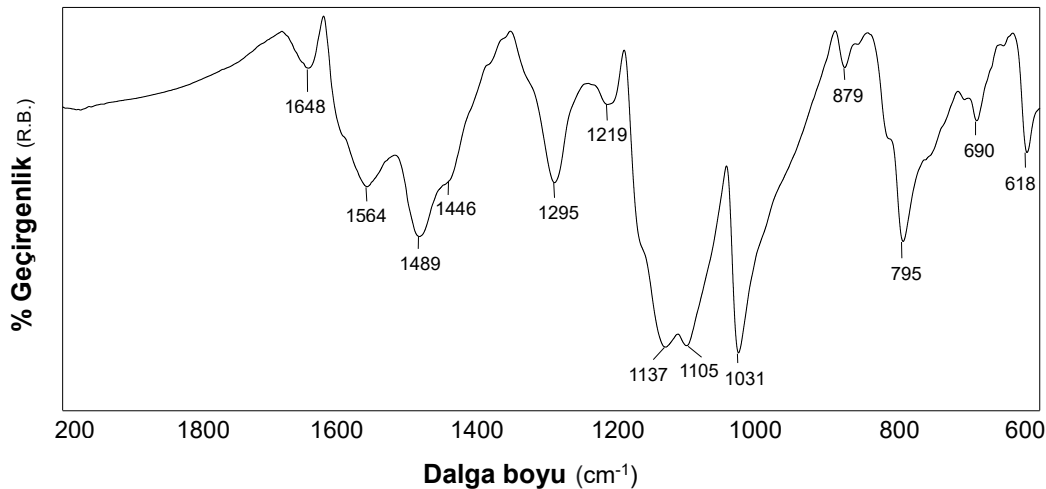


Şekil 2. NPX'in kalibrasyon eğrisi

PAMPSA yüklenmiş Polianilin yapısının karakterizasyonu için FT-IR (Perkin Elmer, Spectrum 100), SEM (ZEISS Supra 40VP), XRD (Panalytical- Empyrean) teknikleri kullanılmıştır. Bu tekniklerden elde edilen sonuçlar yardımıyla adsorban yapısının morfolojik özellikleri, kimyasal fonksiyonel grup analizleri ve minerolojik içerikleri incelenmiştir

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

#### 3.1. Pampsa Yüklenmiş Polianilin Karakterizasyonu

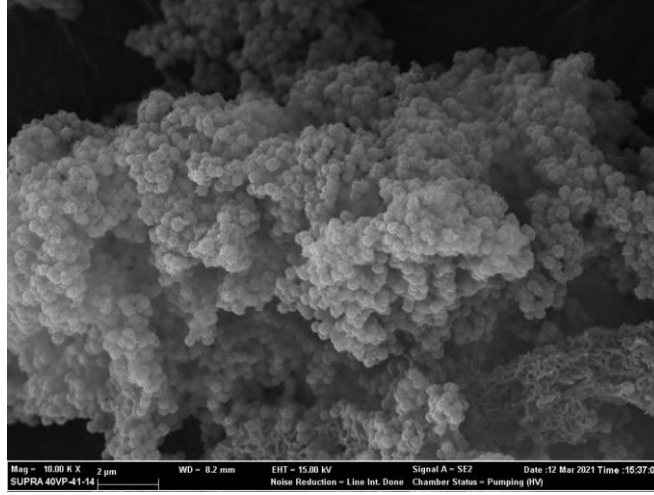


Şekil 3. PAMPSA Yüklenmiş Polianilin FT-IR spektrumu

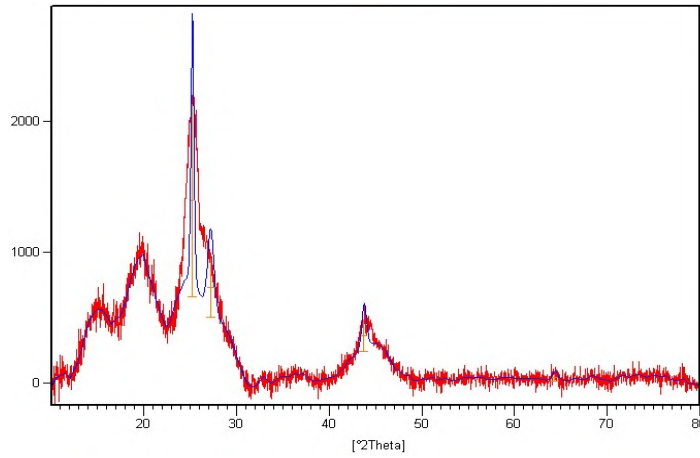
Şekil 3' te PAMPSA yüklenmiş Polianilin yapısına ait FT-IR spektrumu verilmiştir. Spektrumda, 1564 ve 1489  $\text{cm}^{-1}$ ' de gözlemlenen tipik pikler, aromatik C=C bağlarının gerilme titreşimlerine aittir (Shen, Shahid, Sarihan, Patterson & Emanuelsson, 2018). 1295 ve 1137  $\text{cm}^{-1}$  de ortaya çıkan pikleri ise sırasıyla aromatik amin ve imin bağlarının gerilme titreşimlerinden kaynaklanmaktadır (Zhu et al., 2015; Kawashima and Goto, 2011). 1031 ve 1645  $\text{cm}^{-1}$  deki pikler ise sırasıyla PAMPSA yapısındaki O=S=O ve C=O gerilme titreşimlerine atfedilmiştir (Gribkova et al., 2011). FT-IR spektrumunda gözlemlenen pikler, sentezlenen polimerik yapının Polianilin olduğu göstermiştir. Öte yandan PAMPSA yapısındaki gruplarla ilgili piklerin de spektrumda görülmesi, Polianilin yapısına PAMPSA yüklenmesinin başarılı bir şekilde gerçekleştirilebildiğini doğrulamıştır.

Şekil 4' te hazırlanan polimerik yapıya (adsorban) ait 10.000 X büyütme ile elde edilmiş örnek bir SEM görüntüsü verilmiştir. SEM görüntüleri incelendiğinde PAMPSA yüklenmiş Polianilin nanopartiküllerinin ortalama boyutlarının 200-300 nm seviyesinde olduğu belirlenmiştir. Partiküllerin pürüzlü yapısı ve dolayısıyla geniş yüzey alanları yüksek adsorpsiyon eldesinde (~%70 seviyesinde) en önemli etkenlerden biridir.

XRD analizi sentezlenen Polianilin türevi yapının kristal-amorf özelliklerinin incelenmesi amacıyla gerçekleştirilmiştir (Amura et al., 2021). Polianilin ve türevleri genellikle yarı kristalin, PAMPSA ise amorf yapıda bir polimerdir (Shen et al., 2018). PAMPSA yüklenmiş Polianilin türevi için elde edilen XRD izleri (Şekil 5) incelendiğinde 25.2 ve 27.21° de ortaya çıkan spesifik piklerin PAMPSA yapısı ile yüklenme sonrasındaki etkileşimler sebebiyle Polianilin zincirlerinin yeniden düzenlenmesi ile ilgili pikler olduğu düşünülmektedir (Gribkova et al., 2011). Pik şiddetlerinin düşük olmasının ise PAMPSA' nın amorf bir polimer olması ve Polianilin yapısında yüksek oranda katılması sonucunda polimerin kristalinitesini azaltması ve dolayısıyla Polianilin zincirlerinin sıralanmasını zorlaştırmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (Shen et al., 2018).



Şekil 4. PAMPSA Yüklü Polianilin SEM görüntüsü (10.000X)



Şekil 5. PAMPSA Yüklü Polianilin XRD spektrumu

### 3.2. PAMPSA Yüklü Polianilin NPX Adsorpsiyon Davranışı

Adsorban miktarı 0.1 g/50ml, 50 ppm NPX derişimi, pH 7, 25° C ve 30 dk' da dinamik dengeye ulaşan NPX, hızlı adsorpsiyon kinetiği göstermiştir (Şekil 6a). NPX' in adsorpsiyon verimliliğine pH' ın etkisi incelendiğinde NPX' in doğal pH' ında (pH=7) maksimum giderim verimliliği elde edildiği belirlenmiştir (Şekil 6b). 50 ppm NPX derişimi, pH 7, 25°C ve 30 dk' da sulu çözeltiden maksimum %54.65 NPX gideriminin 0.05g/50 ml adsorban miktarında gözlenmiştir (Şekil 6c). NPX' in başlangıç konsantrasyonunun adsorpsiyon prosesi verimi üzerine etkisi incelendiğinde maksimum giderim veriminin 150 ppm için %68.99 olduğu tespit edilmiştir (Şekil 6d). Adsorpsiyon sürecinde maksimum adsorplanmanın elde edildiği 30 dk sonrasında meydana gelen desorpsiyon, bu süreçte sistem içerisindeki elektriksel çekim kuvvet dengesindeki değişime atfedilmektedir. Adsorbanın aktif kısımlarının ilk 30 dakikada tamamen adsorsiyona katılması ile birlikte adsorplanmış ve çözelti ortamında bulunan naproksen yapılarının birbirleri arasındaki elektriksel çekim kuvvetlerinin, adsorban-naproksen arasındaki çekim kuvvetinden daha etkili hale gelmesi ve bu sayede adsorplanmış naproksen yapılarının tekrar çözelti ortamına çekilmelerinin bu süreçteki temel sebep olabileceği düşünülmektedir. Aynı zamanda naproksenin polar yapısı sayesinde su molekülleri arasındaki yüksek çekim kuvvetlerinin

de zamanla meydana gelen desorpsiyonda etkili olduğu öngörülmektedir.

Literatürde naproksen gideriminde kullanılmış olan bazı adsorbanlar ve bu adsorbanların adsorpsiyon kapasiteleri Tablo 1' de verilmiştir. Tablo incelendiğinde çalışmada kullanılan adsorbanın nispeten yüksek adsorpsiyon kapasitesi ile dikkat çekici ve naproksen gideriminde kullanılabilecek etkili bir materyal olabileceği görülmektedir.

### 3.3. PAMPSA Yüklü Polianilin Üzerine NPX Adsorpsiyonu Kinetik Çalışmaları

PAMPSA yüklü Polianilin üzerine NPX için kinetik çalışmaları Yalancı I. derece kinetik modeli (Eşitlik 3), Yalancı II. derece kinetik modeli (Eşitlik 4) ve Partikül içi difüzyon modeli (Eşitlik 5) metodlarıyla belirlenmiştir.

$$\ln(q_e - qt) = \ln q_e - k_1 * t \quad (3)$$

$$\frac{t}{qt} = \frac{1}{k_2} qe^2 + \frac{t}{qe} \quad (4)$$

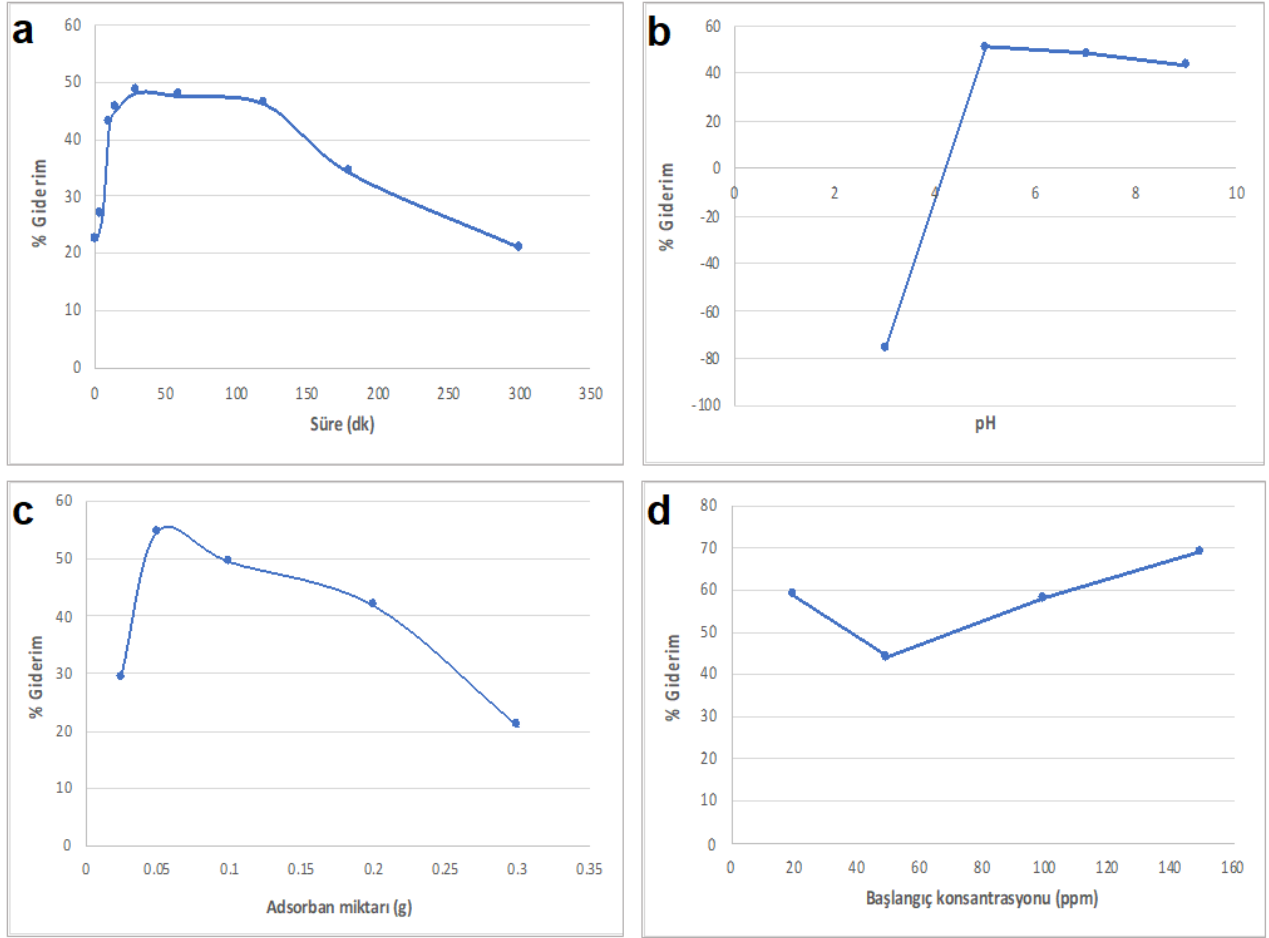
$$qe = K_i * t^{0.5} + C \quad (5)$$

Eşitliklerde, qt (mg/g)= t anında adsorpsiyon kapasitesi, qe (mg/g) = denge anındaki adsorpsiyon kapasitesi, k1 ve k2; sırasıyla yalancı I. derece kinetik modeli ve yalancı II. derece kinetik

modeli için hız sabitleri,  $t$ =zaman (dk),  $K_i$ : parçacık içi taşınmanın hız sabiti ( $g/mg \cdot min$ ),  $C$ : Sabit.

Adsorpsiyon kinetiği ile ilgili analiz sonuçları, adsorpsiyon kinetiğinin yalancı II. derece kinetik modelle eşleştiğini göstermiştir (Şekil 7). Tüm süreler için elde edilen düşük

korelasyon değerleri nedeniyle partikül içi difüzyon oluşmamıştır (Şekil 8).

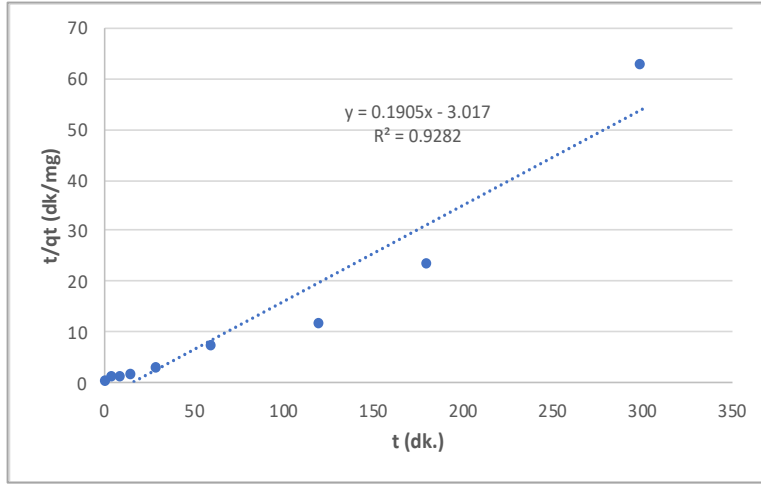


Şekil 6. PAMPSA Yüklü Polianilin üzerine NPX adsorpsiyon davranışı (a: Temas süresi, b: pH, c: adsorban miktarı, d: başlangıç konsantrasyonu) ( $T=25\text{ }^{\circ}\text{C}$ , hız = 300 rpm,  $V=50\text{ ml}$ )

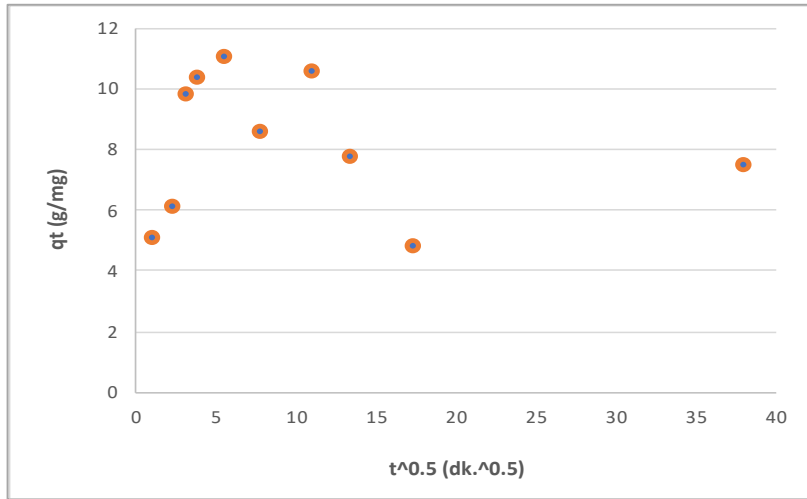
Tablo 1. Literatürde naproxen gideriminde kullanılmış olan bazı adsorbanlar ve adsorpsiyon kapasiteleri

Adsorban	Adsorpsiyon kapasitesi (mg/g)	Referans
Kitosan modifiyeli atık lastik	2,3	Phasuphan et al., 2019
Aljinat kompozitleri	3,5	Özcan ve Saloğlu, 2019
PAMAM dendrimer	5,96	Kurczewska et al., 2020
Zeolitçe zengin kompozit	16,1	Smiljanić et al., 2021
Doğal kil	37	Khazri et al., 2017
Fıstık kabuğu	55,1	Tomul vd., 2020
Aktif karbon	100	Harputluğil, 2018
PAMPSA Yüklü PANI	103,5	Bu çalışmada





Şekil 7. PAMPSA Yüklenmiş Polianilin üzerine NPX adsorpsiyonunun yalancı II. derece kinetik modeli



Şekil 8. PAMPSA Yüklenmiş Polianilin üzerine NPX adsorpsiyonunun partikül içi difüzyon modeli

### 3.4. PAMPSA Yüklenmiş Polianilin Üzerine NPX Adsorpsiyonu İzoterm Modelleri

Adsorpsiyon izotermi, adsorpsiyon sisteminin verimliliği hakkında bilgi verir. PAMPSA Yüklenmiş Polianilin üzerine NPX adsorpsiyon verimliliği Langmuir, Freundlich, Temkin ve Harkins-Jura izoterm modellerine göre incelenmiştir. Adsorplanmış moleküller arasında etkileşimin olmadığı ve adsorban yüzeyinin homojen yapısı hakkında bilgiyi Langmuir izoterm modeli (Langmuir, 1918), adsorban yüzeyindeki tüm adsorpsiyon alanlarının heterojen yapısı hakkında bilgiyi Freundlich izoterm modeli (Freundlich, 1907) açıklamaktadır. Ayrıca heterojen yüzey enerji sistemleri hakkında bilgi ve heterojen gözenek dağılımının varlığında çok katmanlı adsorpsiyon hakkında bilgi sırasıyla Temkin izoterm modeli ve Harkins-Jura izoterm modelleri ile açıklanmaktadır (Erhayem, Al-Tohami, Mohamed and Ahmida, 2015; Kar, Yılgin and Duranay, 2019).

Langmuir izotermi, Freundlich izotermi, Temkin izotermi ve Harkins-Jura izotermi modelleri sırasıyla Eşitlik 6, 7, 8 ve 9' a göre verilmiştir.

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{C_e}{q_{max}} + \frac{1}{KL \cdot q_{max}} \quad (6)$$

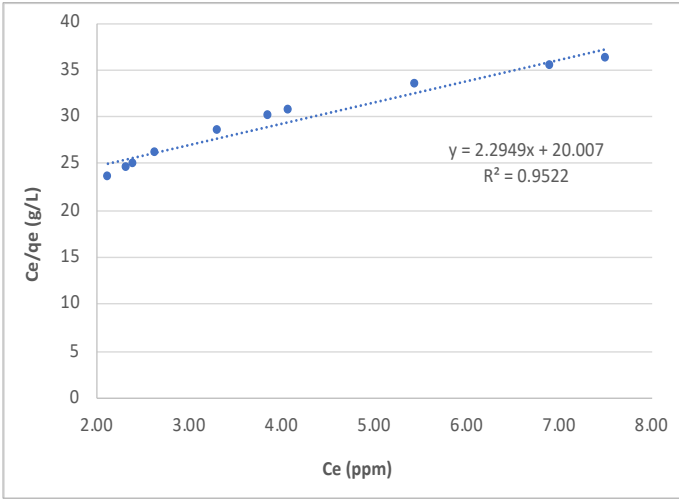
$$\ln q_e = \ln K_f + \frac{\ln C_e}{n} \quad (7)$$

$$q_e = \frac{RT}{b} \ln A + \frac{RT}{b} \ln C_e \quad (8)$$

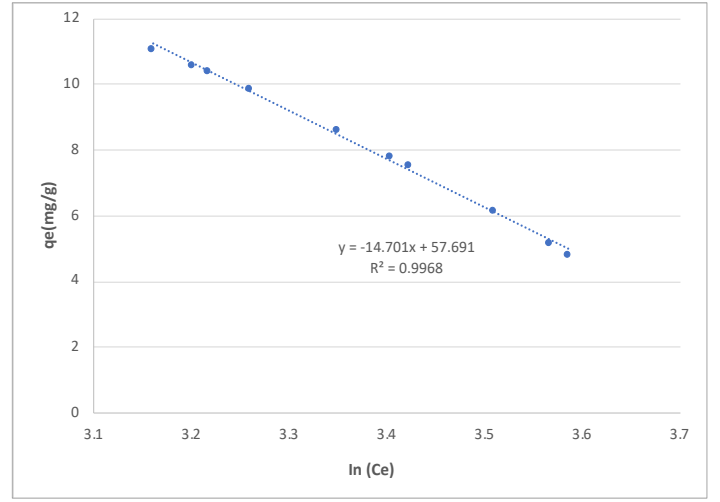
$$\frac{1}{q_e \cdot A^2} = \frac{B_2}{A} - \frac{1}{A} \log C_e \quad (9)$$

Eşitliklerde, q<sub>e</sub>: Adsorbanın her bir kütlesi için NPX' in miktarı (mg/g), C<sub>e</sub>: Dengedeki konsantrasyon (mg/L), q<sub>max</sub>: Maksimum teorik NPX adsorpsiyon kapasitesi (mg/g), KL: Langmuir afinite sabiti (L/mg), K<sub>f</sub> ve n: Freundlich sabitleri, A(eğim): Temkin izotermi dengede bağlama sabiti (L/g), b: Temkin izoterm sabiti, R: Genel gaz sabiti (8.314 J/mol\*K), T: Sıcaklık (K), B<sub>2</sub> ve A: Harkins-Jura izoterm sabitleri.

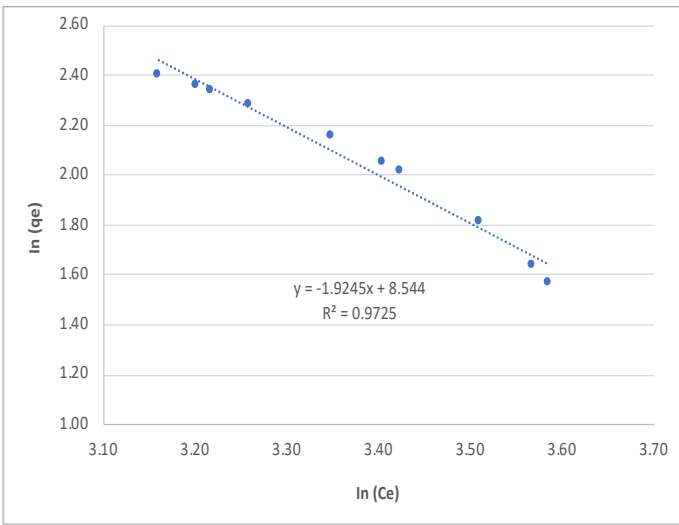
PAMPSA Yüklenmiş Polianilin üzerine NPX adsorpsiyonunun her dört modele (Langmuir, Freundlich, Temkin ve Harkins-Jura izoterm modelleri) uyduğu belirlenmiş ve izoterm modelleri sırasıyla Şekil, 9, 10, 11 ve 12 de verilmiştir. Temkin R<sup>2</sup>=0.99 > Freundlich R<sup>2</sup>=0.97 > Langmuir R<sup>2</sup>=0.95 > Harkins-Jura R<sup>2</sup>=0.86 olarak tespit edilmiştir. NPX adsorpsiyonunun en iyi Temkin izoterm modeline uyduğu belirlenmiştir.



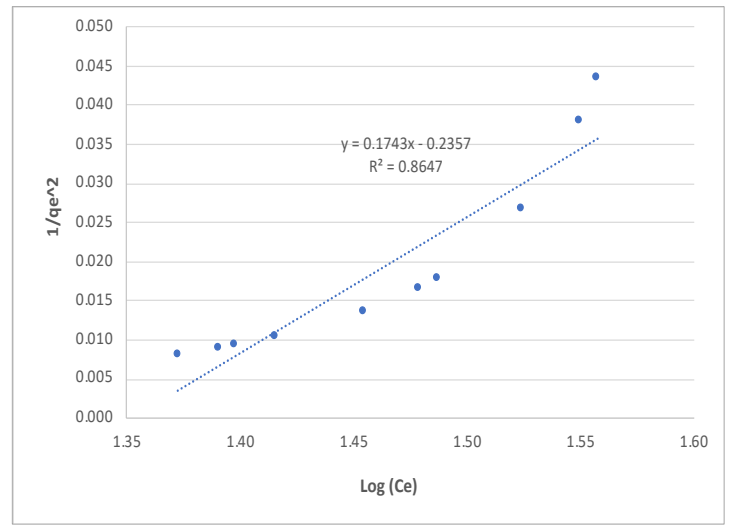
Şekil 9. Adsorpsiyonun Langmuir izoterm modeli



Şekil 11. Adsorpsiyonun Temkin izoterm modeli



Şekil 10. Adsorpsiyonun Freundlich izoterm modeli



Şekil 12. Adsorpsiyonun Harkins-Jura izoterm modeli

### 3.5. PAMPSA Yüklenmiş Polianilin Üzerine NPX Adsorpsiyonu Termodinamik Çalışmaları

Adsorpsiyon prosesinin Gibbs serbest enerji farklılığı ( $\Delta G^\circ$ ), Van't Hoff eşitliğinin denge sabiti (Eşitlik 10) ve termodinamiğe göre Gibbs serbest enerji farklılığı ( $\Delta G^\circ$ ) da sabit sıcaklıkta entropi değişimi ( $\Delta S^\circ$ ) ve adsorpsiyon ısısı ( $\Delta H^\circ$ ) ile ilişkilidir (Eşitlik 11).

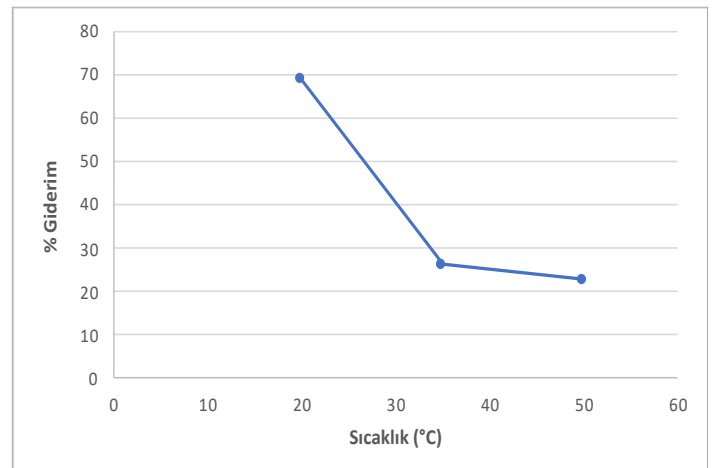
$$\Delta G^\circ = -RT \ln K_d \quad (10)$$

$$\ln K_d = \frac{\Delta S^\circ}{R} - \frac{\Delta H^\circ}{RT} \quad (11)$$

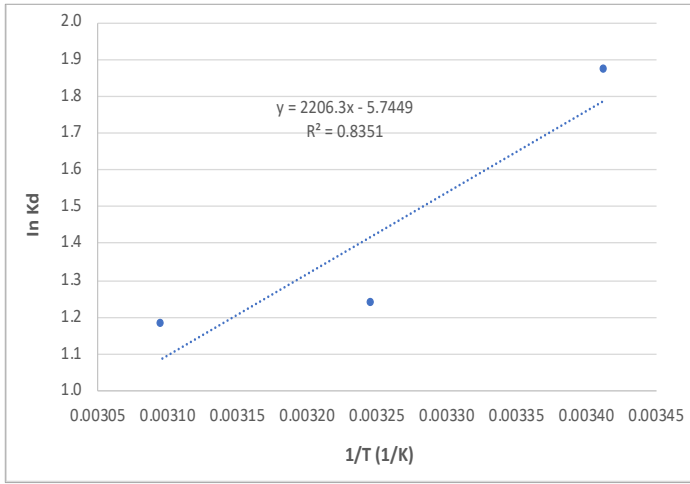
Eşitliklerde, T: Sıcaklık (K), R: İdeal gaz sabiti (8.314 J/mol\*K).

Sıcaklığın artmasına bağlı olarak adsorbantın adsorplama kapasitesinin azaldığı gözlenmiştir (Şekil 13).  $\Delta S^\circ$  ve  $\Delta H^\circ$ , Van't Hoff eğrisi yardımıyla  $\ln K_d$ 'ye karşı  $1/T$  çizilerek hesaplanmıştır.  $\Delta H^\circ$ (kJ/mol) değeri -18.43,  $\Delta S^\circ$ (kJ/mol) değeri 47.76 olarak hesaplanmıştır. 293K, 308 K ve 323K sıcaklık değerleri için sırasıyla  $\Delta G^\circ$  (kJ/mol) değerleri 4.55, 3.17, 3.16'dır (Şekil 14). Negatif  $\Delta H^\circ$  değeri adsorpsiyon prosesinin ekzotermik olduğunu, pozitif  $\Delta S^\circ$  değerinin katı/çözelti arayüzünde adsorpsiyon işlemi sırasında rastgele bir artış olduğunu ve pozitif  $\Delta G^\circ$  değeri ise

adsorpsiyon prosesinin kendiliğinden meydana gelmediğini göstermektedir.



Şekil 13. PAMPSA Yüklenmiş Polianilin üzerine NPX'in adsorpsiyon davranışı üzerine sıcaklığın etkisi



Şekil 14. Termodinamik parametrelerinin tahmini için  $\ln K_d - 1/T$  grafiği

## 4. Sonuç

Çalışmada PAMPSA yüklenmiş polianilin kullanılarak sulu ortamdan naproksen giderimi incelenmiştir. pH 7, 25°C sıcaklık, 30 dk temas süresi, 0.05g/50 ml adsorban miktarı ve 150 ppm en optimum koşullar için adsorpsiyon prosesi maksimum giderim veriminin %68.99 olduğu tespit edilmiştir. Optimum koşullardaki adsorpsiyon kapasitesi ise 103,5 mg/g olarak hesaplanmıştır. Adsorpsiyon kinetiğinin yalnızca II. derece kinetik modelle eşleşmiştir. PAMPSA Yüklenmiş Polianilin üzerine NPX adsorpsiyonunun Langmuir, Freundlich, Temkin ve Harkins-Jura izoterm modellerine uyduğu belirlenmiştir. Temkin  $R^2=0.99 > Freundlich R^2=0.97 > Langmuir R^2=0.95 > Harkins-Jura R^2=0.86$ 'dir. NPX adsorpsiyonunun en iyi Temkin izoterm modeline uyduğu belirlenmiştir. Negatif  $\Delta H^\circ$  değeri (-18.43 kJ/mol) adsorpsiyon prosesinin ekzotermik olduğunu, pozitif  $\Delta S^\circ$  değeri (47.76 kJ/mol) katı/çözelti arayüzünde adsorpsiyon işlemi sırasında rastgele bir artış olduğunu ve pozitif  $\Delta G^\circ$  değeri ise adsorpsiyon prosesinin kendiliğinden meydana gelmediğini göstermektedir.

## 5. Teşekkür

Naproksen sodyumun (NPX) tedarikindeki destekleri sebebiyle Abdi İbrahim ilaç firmasına teşekkür ederim.

## Kaynakça

- Ahmad, M., Fatima, M., Hossain, M., & Mondal, A. (2018). Evaluation of naproxen-induced oxidative stress, hepatotoxicity and in-vivo genotoxicity in male Wistar rats. *Journal Of Pharmaceutical Analysis*, 8(6), 400-406. doi: 10.1016/j.jpha.2018.04.002
- Amura, I., Shahid, S., Sarihan, A., Shen, J., Patterson, D. and Emanuelsson, E., (2021). Fabrication of self-doped sulfonated polyaniline membranes with enhanced antifouling ability and improved solvent resistance. *Journal of Membrane Science*, 620, p.117712.
- Bajpai, S., & Bhowmik, M. (2010). Adsorption of diclofenac sodium from aqueous solution using polyaniline as a potential sorbent. I. Kinetic studies. *Journal Of Applied Polymer Science*, n/a-n/a. doi: 10.1002/app.32263

- Binelli, A., Magni, S., Soave, C., Marazzi, F., Zuccato, E., & Castiglioni, S. et al. (2014). The biofiltration process by the bivalve *D. polymorpha* for the removal of some pharmaceuticals and drugs of abuse from civil wastewaters. *Ecological Engineering*, 71, 710-721. doi: 10.1016/j.ecoleng.2014.08.004
- Boyd, G., Zhang, S., & Grimm, D. (2005). Naproxen removal from water by chlorination and biofilm processes. *Water Research*, 39(4), 668-676. doi: 10.1016/j.watres.2004.11.013
- Ding, T., Lin, K., Yang, B., Yang, M., Li, J., Li, W., & Gan, J. (2017). Biodegradation of naproxen by freshwater algae *Cymbella* sp. and *Scenedesmus quadricauda* and the comparative toxicity. *Bioresource Technology*, 238, 164-173. doi: 10.1016/j.biortech.2017.04.018
- Erhayem, M., Al-Tohami, F., Mohamed, R. and Ahmida, K., (2015). Isotherm, Kinetic and Thermodynamic Studies for the Sorption of Mercury (II) onto Activated Carbon from *Rosmarinus officinalis* Leaves. *American Journal of Analytical Chemistry*, 06(01), pp.1-10.
- Feng, L., van Hullebusch, E., Rodrigo, M., Esposito, G., & Oturan, M. (2013). Removal of residual anti-inflammatory and analgesic pharmaceuticals from aqueous systems by electrochemical advanced oxidation processes. A review. *Chemical Engineering Journal*, 228, 944-964. doi: 10.1016/j.cej.2013.05.061
- Freundlich, H., (1907). Über die Adsorption in Lösungen. *Zeitschrift für Physikalische Chemie*, 57U(1).
- Górny, D., Guzik, U., Hupert-Kocurek, K., & Wojcieszynska, D. (2019). Naproxen ecotoxicity and biodegradation by *Bacillus thuringiensis* B1(2015b) strain. *Ecotoxicology And Environmental Safety*, 167, 505-512. doi: 10.1016/j.ecoenv.2018.10.067
- Gribkova, O., Nekrasov, A., Trchova, M., Ivanov, V., Sazikov, V., Razova, A., Tverskoy, V. and Vannikov, A., (2011). Chemical synthesis of polyaniline in the presence of poly(amidosulfonic acids) with different rigidity of the polymer chain. *Polymer*, 52(12), pp.2474-2484.
- Kar, F., Yılgin, M. And Duranay, N., (2019). Aktifleştirilmiş zeolit ve polivinilrolidon kullanılarak sulu çözeltiden metilen mavisinin giderilmesinde adsorpsiyon parametrelerinin belirlenmesi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*,.
- Kawashima, H. and Goto, H., (2011). Preparation and Properties of Polyaniline in the Presence of Trehalose. *Soft Nanoscience Letters*, 01(03), pp.71-75.
- Khazri, H., Ghorbel-Abid, I., Kalfat, R., & Trabelsi-Ayadi, M. (2016). Removal of ibuprofen, naproxen and carbamazepine in aqueous solution onto natural clay: equilibrium, kinetics, and thermodynamic study. *Applied Water Science*, 7(6), 3031-3040.
- Kızıldaş, H., (2021). Orange G'nin Sulu Çözeltilerden Uzaklaştırılması için  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  Nanopartiküllerinin Adsorban Olarak Kullanılması; Adsorpsiyon, Kinetik ve Termodinamik Özellikleri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi* (21), 43-52.
- Kucuk, İ., & Sarısakal, İ. (2020). Potansiyel Bir Adsorban Olarak Perlit İçeren Polisakkarit Esaslı Küresel Hibrit Tanecikler. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (20), 216-222. doi: 10.31590/ejosat.774982
- Kurczewska, J., Cegłowski, M., & Schroeder, G. (2020). PAMAM-halloysite Dunino hybrid as an effective adsorbent of ibuprofen and naproxen from aqueous solutions. *Applied Clay Science*, 190, 105603.
- Lach, J., & Szymonik, A. (2019). Adsorption of Naproxen Sodium from Aqueous Solutions on Commercial Activated

- Carbons. *Journal Of Ecological Engineering*, 20(10), 241-251. doi: 10.12911/22998993/113419
- Langmuir, I., (1918). The Adsorption Of Gases On Plane Surfaces Of Glass, Mica And Platinum. *Journal of the American Chemical Society*, 40(9), pp.1361-1403.
- Noutsopoulos, C., Koumaki, E., Mamais, D., Nika, M., Bletsou, A., & Thomaidis, N. (2015). Removal of endocrine disruptors and non-steroidal anti-inflammatory drugs through wastewater chlorination: The effect of pH, total suspended solids and humic acids and identification of degradation by-products. *Chemosphere*, 119, S109-S114. doi: 10.1016/j.chemosphere.2014.04.107
- Ozcan, N., Saloğlu, D., (2019). Sulu Çözümlerden Naproksen Gideriminde Aktif Karbon İçeren Aljinat Kompozitleri. *SETSCI Conference Proceedings*, 4 (6), 12-15, 2019.
- Phasuphan, W., Praphairaksit, N., & Imyim, A. (2019). Removal of ibuprofen, diclofenac, and naproxen from water using chitosan-modified waste tire crumb rubber. *Journal Of Molecular Liquids*, 294, 111554.
- Qurie, M., Khamis, M., Malek, F., Nir, S., Bufo, S., & Abbadi, J. et al. (2013). Stability and Removal of Naproxen and Its Metabolite by Advanced Membrane Wastewater Treatment Plant and Micelle-Clay Complex. *CLEAN - Soil, Air, Water*, 42(5), 594-600. doi: 10.1002/clen.201300179
- Sarihan, A. (2020). Development of high-permeable PSf/PANI-PAMPSA composite membranes with superior rejection performance. *Materials Today Communications*, 24, 101104. doi: 10.1016/j.mtcomm.2020.101104
- Sarihan, A., Shahid, S., Shen, J., Amura, I., Patterson, D., & Emanuelsson, E. (2019). Exploiting the electrical conductivity of poly-acid doped polyaniline membranes with enhanced durability for organic solvent nanofiltration. *Journal Of Membrane Science*, 579, 11-21. doi: 10.1016/j.memsci.2019.02.030
- Shen, J., Shahid, S., Amura, I., Sarihan, A., Tian, M. and Emanuelsson, E., (2018). Enhanced adsorption of cationic and anionic dyes from aqueous solutions by polyacid doped polyaniline. *Synthetic Metals*, 245, pp.151-159.
- Shen, J., Shahid, S., Sarihan, A., Patterson, D., & Emanuelsson, E. (2018). Effect of polyacid dopants on the performance of polyaniline membranes in organic solvent nanofiltration. *Separation And Purification Technology*, 204, 336-344. doi: 10.1016/j.seppur.2018.04.034
- Smiljanić, D., de Gennaro, B., Daković, A., Galzerano, B., Germinario, C., & Izzo, F. et al. (2021). Removal of non-steroidal anti-inflammatory drugs from water by zeolite-rich composites: The interference of inorganic anions on the ibuprofen and naproxen adsorption. *Journal Of Environmental Management*, 286, 112168.
- Szreter, S. (2004). Industrialization and health. *British Medical Bulletin*, 69(1), 75-86. doi: 10.1093/bmb/ldh005
- Tomul, F., Arslan, Y., Kabak, B., Trak, D., & Tran, H. (2021). Adsorption process of naproxen onto peanut shell-derived biosorbent: important role of n –  $\pi$  interaction and van der
- Zhou, H. (2009). Population Growth And Industrialization. *Economic Inquiry*, 47(2), 249-265. doi: 10.1111/j.1465-7295.2008.00151.x
- Zhu, S., Shi, M., Zhao, S., Wang, Z., Wang, J. and Wang, S., (2015). Preparation and characterization of a polyethersulfone/polyaniline nanocomposite membrane for ultrafiltration and as a substrate for a gas separation membrane. *RSC Advances*, 5(34), pp.27211-27223.



# Molecular Characterization of *Deformed Wing Viruses* Identified in Honeybee (*Apis mellifera* L.) Colonies in Erzincan Province of Turkey

Abdullah Güller<sup>1\*</sup>, Mustafa Usta<sup>2</sup>, Gözdenur Çakar<sup>3</sup>, Zeynelabidin Kurt<sup>4</sup>

<sup>1\*</sup> Bingol University, Faculty of Agriculture, Department of Plant Protection, Bingöl, Turkey, (ORCID: 0000-0003-3887-4208), aguller@bingol.edu.tr

<sup>2</sup> Van Yüzüncü Yıl University, Faculty of Agriculture, Department of Plant Protection, Van, Turkey, (ORCID: 0000-0002-3940-2774), mustafausta@yyu.edu.tr

<sup>3</sup>Bingol University, Institute of Science and Technology, Department of Bee and Bee Products, Bingöl, Turkey, (ORCID: 0000-0003-3887-4208), gozdenurcakar@gmail.com

<sup>4</sup>Bingol University, Institute of Science and Technology, Department of Bee and Bee Products, Bingöl, Turkey, (ORCID: 0000-0002-3371-964X), abidinkurt21@icloud.com

(İlk Geliş Tarihi 11 Haziran 2021 ve Kabul Tarihi 21 Ağustos 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.951040)

**ATIF/REFERENCE:** Güller, A., Usta, M., Çakar, G. & Kurt, Z. (2021). Molecular characterization of *Deformed wing virus* identified in honeybees (*Apis mellifera* L.) colonies in Erzincan province of Turkey. *European Journal of Science and Technology*, (27), 186-192.

## Abstract

*Deformed wing virus* (DWV), which belongs to the Iflaviridae family, is a devastating virus causing severe financial losses in honey bee colonies all over the world. In 2020 (November), virus-suspected honey bee specimens collected from Erzincan province were screened by molecular assays against DWV infection. In 6 of 12 samples, an expected approximately 700 bp DNA bands were achieved, indicating probably virus-positive. Two randomly selected amplified DNA band suggesting the presence of the virus was further cloned into a pGEM-T Easy vector and electrically transformed into *E. coli* competent bacteria. Recombinant plasmids obtained from cloning were purified from *E. coli* and sequenced by next-generation sequencing (NGS). The partial nucleotide sequences of DWV were ascertained to contain 711 nucleotides and these sequences were recorded in the NCBI GenBank with MW962981 and MW962982 accession number. The highest sequence similarity of both isolates ranged from 98.03% to 98.17%, at the nucleotide level. Furthermore, phylogenetic relationships of Erzincan DWV sequences were revealed using 15 unique sequences from different ecological regions registered in the GenBank. Phylogenetic tree displayed that DWV Erzincan isolates are clustered with UK (HM067438), Spain (MK262743), and Sweden (MN746311) isolates. According to our best knowledge, DWV has been reported for the first time in the honey bees from Erzincan province of Turkey by this study.

**Keywords:** *Deformed wing virus*, honey bee, RT-PCR, cloning, sequence.

## Erzincan İlinde Bal Arısı (*Apis mellifera* L.) Kolonilerinde Tespit Edilen Deforme Kanat Virüsünün Moleküler Karakterizasyonu

### Öz

Iflaviridae ailesine ait olan deforme kanat virüsü (DWV), tüm dünyada bal arısı kolonilerinde ciddi maddi kayıplara neden olan yıkıcı bir virüsdür. 2020'de (Kasım) Erzincan ilinden toplanan virüs şüphesi olan bal arısı örnekleri, DWV enfeksiyonuna karşı moleküler testlerle tarandı. Test edilen 12 örneğin 6'sında muhtemel virüs varlığını gösteren yaklaşık 700 bp DNA bandı elde edildi. Virüsün varlığını gösteren bantlardan rastgele seçilen iki amplifiye edilmiş DNA bandı pGEM-T Easy vektörüne klonlanmış ve elektriksel olarak kompetan *E. coli* bakterisine aktarılmıştır. Klonlamadan elde edilen rekombinant plazmitler, *E. coli*'den saflaştırılmış ve yeni nesil dizileme (NGS) ile dizilenmiştir. DWV'nin kısmi nükleotid dizilerinin 711 nükleotid içerdiği tespit edilmiş ve bu diziler MW962981 ve MW962982 erişim numarası ile NCBI GenBank'a kaydedilmiştir. Her iki izolatın en yüksek dizi benzerliği, nükleotid düzeyinde %98.03 ile %98.17 arasında değişmiştir. Ayrıca, Erzincan DWV dizilerinin filogenetik ilişkileri, GenBank'ta kayıtlı farklı ekolojik bölgelerden 15 benzersiz dizi kullanılarak ortaya çıkarılmıştır. Filogenetik ağaç, DWV Erzincan izolatlarının İngiltere (HM067438), İspanya (MK262743) ve İsveç (MN746311) izolatları ile kümelendiğini göstermiştir. Literatür bilgilerimize göre, bu çalışma ile DWV (Deforme kanat virüsü) Türkiye'nin Erzincan ili bal arılarında ilk kez rapor edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Deforme kanat virüsü, bal arısı, RT-PCR, klonlama, sekans.

<sup>1</sup> Corresponding Author: aguller@bingol.edu.tr

## 1. Introduction

Beekeeping is an agricultural activity that produces bee products such as honey, royal jelly, pollen, beeswax, propolis, and bee venom, as well as living materials such as queen bees and swarms. Honey bees, the leading actors in this industry, are socially trainable pollinator insects that also serve the future of the world (Bingöl & Erkan 2014; Hung et al., 2018). Various diseases and pests have a negative impact on honey bee health. Especially in devastating situations such as colony collapse disorder (CCD), which is the current common problem, the role of honeybee viruses is inevitable and cannot be ignored. Until the late 1980s, honey bee viral infections were ignored and believed to be generally harmless worldwide. Currently, 18 of the viruses infecting honey bees in both the brood and adult stages have been described in detail in all country, the most common of which are DWV (Deformed wing virus), ABPV (Acute bee paralysis virus), CBPV (Chronic bee paralysis virus), KBV (Kashmir bee virus), BQCV (Black queen cell virus), and SBV (Sacbrood virus) (Genersch & Aubert, 2010; Doganay & Girisgin, 2017).

DWV, which belongs to the Iflavirus genus, was first isolated from adult bees in Japan and spread to many parts of the world. The viral pathogen, whose natural hosts are *A. mellifera* and *A. cerana*, is virion 30 nm in diameter cubic symmetry containing (+) ssRNA genome (Lanzi et al., 2006; Maramorosch & Shatkin, 2007). To initiate infection, the viral load and virulence of DWV are crucial. The causative agent needs approximately 4 times more viral load than healthy ones. The incidence of DWV disease depends on seasonal fluctuation and typically increases in egg, adults, and pupae development stage from summer to autumn (Tentcheva et al., 2004; Yue et al., 2007). In infected adult bees, wrinkled and deformed wings are observed primarily, and shrinkage body and general colorless are noticeable secondarily. Although DWV rarely causes death in honey bee pupae, the average life expectancy of virus-infected adult bees is shorter than healthy ones (Maramorosch & Shatkin, 2007). The viral pathogen has been detected in honey bees' digestive system, semen, testicular epithelium, feces, and even fat cells responsible for many metabolic and endocrine functions as well as the synthesis of antimicrobial peptides. Infected adipose tissue is the main cause of physiological disorders, poor development of queen eggs, and suppression of the immune system (Fievet et al., 2006; Chen et al., 2006).

Many studies of honey bee viruses indicate that this virus is the most frequently detected bee virus worldwide (Cirkovic et al., 2018; Roberts et al., 2017; Rüstemoğlu & Sipahioğlu, 2016). The destructive virus is transmitted to the new host vertically from the queen bee to its egg and horizontally through food and feeding. On the other hand, *Varroa destructor*, the ectoparasitic mite, serves as a biological vector of DWV. The positive correlation between both suggests that both factors play an important role in CCD, which is the critical issue of recent years (Barroso-Arévalo et al., 2019; Schöning et al., 2012; Reyes-Quintana et al., 2019). Virus infections should be closely monitored to ensure the continuity of honey bee colonies. To prevent possible colony losses, serological and molecular-based techniques are of vital importance in determining the DWV particle in a short time (Martin et al., 2013; Abd-El-Samie et al., 2021).

In this study, we searched the presence of DWV in the honey bee colony associated with virus symptoms in Erzincan province of Turkey. Also, we investigated the phylogenetic relationship of the identified viral pathogen based on the relevant gene region.

## 2. Material and Method

### 2.1. Biological Material

This study was carried out with the honey bees collected from the apiary in Erzincan province in November 2020. A total of 12 worker bee samples with and without viral symptoms were collected from only one apiary during randomly visited hive inspections. The samples were brought to Bingöl University Phytopathology Laboratory and stored at -80°C until use.

### 2.2. Extraction of TNA from collected honey bees

In order TNA extraction from all samples showing typical viral symptoms and symptomless, silica-based method was used as declared by Foissac et al., (2001) A total of 12 groups, each group containing three honey bee samples were subjected to TNA isolation. Briefly, samples were crushed in 1 ml of grinding buffer containing 2-mercaptoethanol (ME), and about 500 µl suspension was poured into Eppendorf tube (1.5 ml) and added 100 µl sarkosyl (10%). The mixture was kept at 70 °C for 15 min and then kept on ice for 5 min, then centrifuged at 13000 rpm for 10 min. The upper phase was transferred to the mixture containing EtOH (150 µl), NaI (6M, 300 µl), and resuspended silica (30 µl), incubated for 10 minutes on an intermittent shaker and then centrifuged at 6000 rpm. The upper liquid was discarded, the bottom pellet was dissolved by adding 500 µl of washing buffer, and then centrifuged at 6000 rpm for 1 min. The washing step was repeated. The pellet resuspended in 150 µl nuclease-free water was kept at 70 °C for 4 min and centrifuged at 13000 rpm for 3 min. Finally, the supernatant was transferred to a sterile tube and stored at -20 °C for further steps.

### 2.3. Complementary DNA synthesis and PCR Method for DWV detection

For the reverse transcription step, reaction mix containing 5 ml of extracted TNA and nuclease-free water, 1 µl dNTP mix (10 mM), and 1 µl random hexamer primer (50 pmol/µl) were kept at 65 °C for 5 min. The reaction mix obtained was added to the previously prepared mixture containing 2 µl DTT (0.1M), 4 µl 5X RT reaction buffer, 1 µl RNase inhibitor, and 1 µl RT enzyme (Thermo Scientific, Vilnius, Lithuania) and incubated first at 42 °C for 50 min, then at 70 °C for 15 min to stop the reaction. 2 µl of the synthesized cDNA was used as a template for PCR tests.

To perform PCR testing, primers that were reported by Chen et al., (2004) based on the sequence of the partial RdRp gene of the viral agent were used. Approximately 700 bp of amplification product is expected from DWV-F- 5'-ATCAGCGCTTAGTGGAGGAA -3' and DWV- R- 5'-TCGACAATTTTCGGACATCA-3' primers. The 50 µl reaction mixture consisted of 4 µL cDNA, 0.4 µl Taq enzyme (5U/µl) (Thermo, USA), 34.6 µl nuclease-free water, 5µl 10X PCR Buffer, 3µl MgCl<sub>2</sub> (25mM), 1µl dNTP (10mM), and 1µl of each primer (20µM). PCR cycles were implemented as 35 cycles at 95 °C for 30 sec, 55 °C for 1 min, and 68 °C for 2 min, a final extension of 68 °C for 5 min. PCR assays were carried out on Eppendorf Mastercycler (Hamburg, Germany). In this study, an isolate determined to be DWV as a result of sequencing was

used as a positive control in all studies. cDNA obtained from healthy bees was used as a negative control. 15 µl of PCR yields and 1 kb DNA ladder (Fermentas, Lithuania) were loaded in 1% agarose gel wells, electrophoresed, visualized under UV light, and photographed.

## 2.4. Cloning, Sequencing and Phylogenetic relationships

For cloning, two DWV-positive bands purified from the agarose gel were directly inserted in bacterial cloning vector (pGEM T- Easy) (Promega, USA) using T4 DNA ligase enzyme, then transformed into *E. coli* competent cell strain JM109,

separately. After that, recombinant DNA was isolated from the liquid culture formed from white-colored bacterial colonies indicating the presence of cloning, and send to sequencing (Sentebiolab/Ankara/Turkey). Sequences obtained were submitted to NCBI (National Center for Biotechnology Information). Nucleotide similarity analysis of DWV isolates obtained from Erzincan honey bees was implemented with the BLASTn at NCBI online program. Alignment analysis and phylogenetic relationship were performed utilizing the CLC Main Workbench software program (QIAGEN, Version 6.7.1). The phylogenetic tree was created using fifteen same isolates from different origins published in the GenBank (Table 1).

Table 1. Chart showing information on DWV isolates taken from NCBI used for phylogenetic tree in present study

No	Acc. No.	Country	Isolate	Host	Isolation source
1	HM067438	UK	VDV-1-DWV-No-9	<i>A. mellifera</i>	-
2	MK262743	Spain	DWV type A	<i>A. mellifera</i>	-
3	MN746311	Sweden	VIVA-b2b	<i>A. mellifera</i>	pupae, adult
4	MT747987	Italy	DWV-B/A/2018/ITA	<i>A. mellifera</i>	-
5	KX783225	Belgium	leuven-dwv1	<i>A. mellifera</i>	-
6	MF036686	China	2C1	<i>A. mellifera</i>	pupae
7	KY909333	Italy	Vespa_crabro_DWV_PI_2016	<i>Vespa crabro</i>	abdomen
8	MG831200	USA	Maryland/2015/304	<i>A. mellifera</i>	-
9	AY292384	Italy	PA	<i>A. mellifera</i>	-
10	MT096518	Spain	FTA1-4	-	-
11	AJ489744	Italy	-	<i>A. mellifera</i>	-
12	KU847397	Austria	Austria 1414	<i>A. mellifera</i>	pupae
13	KJ437447	UK	Varroa-infested-colony-DJE202	<i>A. mellifera</i>	-
14	MN538209	Netherlands	DWV_B_Netherlands	<i>A. mellifera</i>	-
15	AF183905	S. Africa	South African	<i>A. mellifera</i>	-

## 3. Results and Discussion

With 7.4 million colonies, Turkey has apiculture potential globally, following China and India (Doganay & Girisgin, 2017). Until now, the beekeeping industry has been threatened by abiotic factors and biotic infectious agents such as bacteria, viruses, microsporidia, fungi, and parasites causing colony losses in honey bees (Cox-Foster et al., 2007; Francis et al., 2013; Genersch et al., 2010). Among honey bee pathogens, viral agents have an important share in bee and bee products both in terms of the labor force and economic loss. DWV, responsible for the decline of the honey bee population, is the most familiar virus globally and usually causes latent infections that cannot be perceived by beekeepers, and infection is inevitable when viral titer reaches the level of

infection. In the case of DWV infestation, characteristic symptoms such as weakness, split and deformed wings, and creep behavior occur in diseased honeybees (Gülmez et al., 2009; Rüstemoğlu & Sipahioğlu, 2019). Its presence has been reported so far in many countries, including Serbia, Sweden, Australia, Chile, UK, Japan, and Bulgaria (Bailey & Ball, 1991; Rodríguez et al., 2014; Cirkovic et al., 2018; Locke et al., 2017; Roberts et al., 2017; Ryabov et al., 2016; Shumkova et al., 2018).

In this study, we sampled a total of 12 worker bees including honey bee showing deformed and vestigial wings, shrunk abdomen size, and darkened whole-body from one of the apiaries visited upon complaints from beekeepers in autumn 2020 in Erzincan province of Turkey (Fig 1).

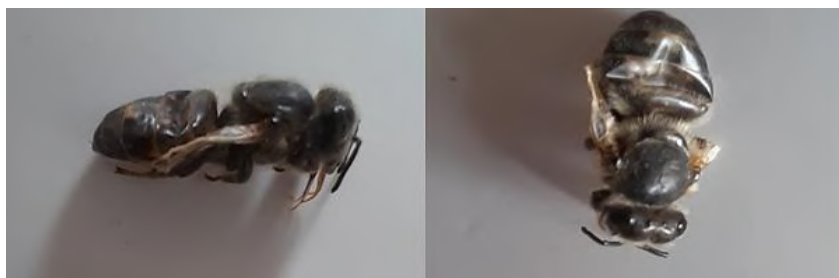


Figure 1. Deformed wing virus specific symptoms in worker honey bees collected from Erzincan province

Collected samples were molecularly analyzed to determine the presence of the *Deformed wing virus* (DWV). Following cDNA synthesis, the RT-PCR test amplified an approximately 700 bp long DNA fragment of the helicase gene of the associated agent in agarose gel (Fig 2). As a result of cloning and sequencing of two randomly selected PCR yields, it was determined that the amplified fragment

contained 711 nucleotides. BLASTn analysis revealed that the Erzincan viral sequences were closely related to the helicase region of the polyprotein gene of DWV, with a high nucleotide identity ranging from 98.03% to 98.17%. The sequences obtained were registered in the GenBank (Acc. Nos: MW962981 and MW962982).

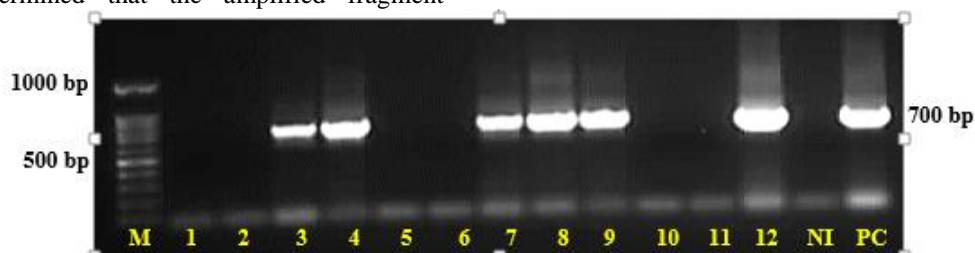


Figure 2. Agarose gel pattern showing DNA fragment of DWV from whole body samples tested by RT-PCR using DWV-specific primer sets. Lane M: 1 Kb DNA marker Lane 3-4-7-8-9-12: DWV-infected honeybees, NI: No Infection, PC: DWV-positive control.

Mixed infections of DWV and other prevalent honey bee viruses have been extensively reported in studies conducted worldwide. Although we tested other common pathogens (ABPV, CBPV, BQCV, and SBV) molecularly, we could only detect this virus in present study. This picture probably arose because honey bee samples were not transported in the cold chain to the laboratory where they will be tested.

Based on pairwise comparisons employed the CLC Main Workbench software, both DWV sequences (MW962981 and MW962982) exhibited 97.19% nucleotide homology between themselves. Turkish-Erzincan DWV isolates were aligned with other DWV isolates from different countries in NCBI GenBank and the phylogenetic dendrogram was constructed (Fig 3).

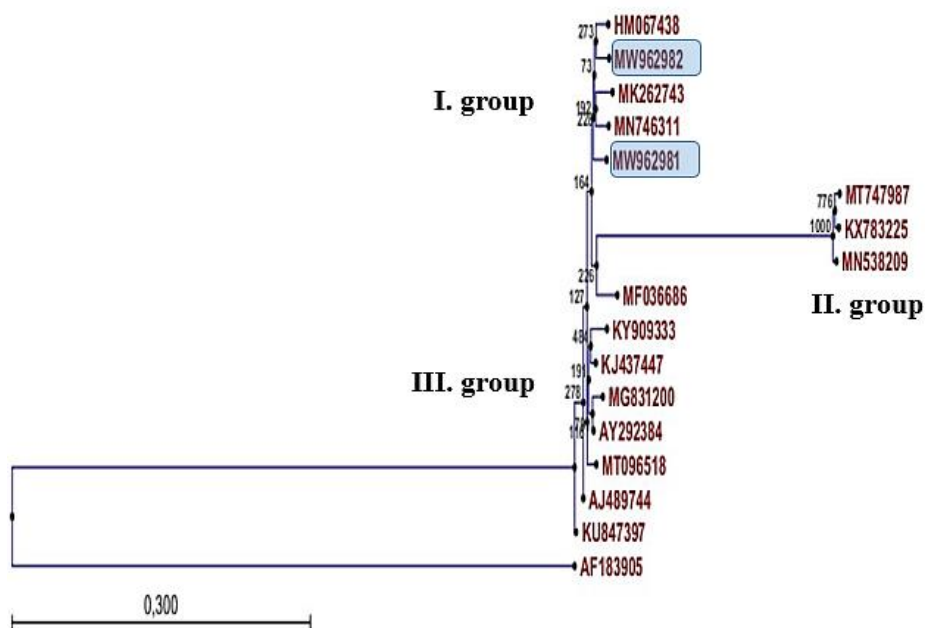


Figure 3. Phylogenetic dendrogram generated using Neighbor-joining algorithm of polyprotein gene sequences of DWV. New sequences from Erzincan province and other sequences are pointed out with "blue filled circle" and the Acc. Nos, respectively. The Black queen cell virus (BQCV) (AF183905) is included as an outgroup from South Africa.



The phylogenetic tree consisted of three main clusters based on nucleic acid sequence similarity. Our isolates (MW962981 and MW962982) were in the first group together with the UK, Spain, and Sweden isolates of DWV from *A. mellifera* honey bee. A remarkable point in the phylogenetic tree is that the second group was clearly in a cluster completely separate from the cluster with other DWV isolates. This separate cluster most likely resulted from the presence of different variants of DWV such as DWV-A, DWV-B (also recognized as *Varroa destructor virus-1*), and DWV-C, as stated by Posada-Florez et al., (2019).

In line with former studies, DWV, one of the deadly viruses parasitizing honey bees, has been well-studied in various geographic regions of the world and in Turkey (Ribière et al., 2008; Cepero et al., 2014; Barroso-Arévalo et al., 2019). The occurrence of DWV was first detected in 2006 in the Eastern Mediterranean region, where heavy colony losses were experienced, and it was officially identified in 2008 and DWV infection was detected in all studied colonies (Muz & Muz, 2008). Apart from this, many studies conducted in different regions of Turkey have focused on honey bee viruses. As previously stated, the DWV genome is large and primers generating different amplicons based on different gene regions of the associated virus can be used for accurate viral diagnosis in *A. mellifera* by many researchers. In the study conducted by screening 15 apiaries in the Burdur province, DWV, ABPV, and BQCV were detected in 13 apiaries. Unlike our study, 618 bp amplicon was obtained using primers specific to the RNA helicase gene region of DWV. Also, 98% nucleotide sequence similarity was determined between the two isolates characterized (Cagırgan et al., 2020). In Hatay and Tekirdağ province, queens and worker bees collected from separate colonies were analyzed against DWV by RT-PCR using primer pair reported by Berenyi et al. (2006). DWV infection was determined at a high rate and 434 bp amplicon encoding the helicase enzyme gene was obtained (Muz & Muz, 2009; 2017). The presence of DWV was investigated by RT-PCR using primers to specific polyprotein gene in worker, drone honey bees, and the varroa mite in Ordu province. The test results of Gülmez et al., (2009) were resulted in 395 bp DNA fragments, indicating the viral pathogen presence. Using the same primer set, similar results were obtained by Karapınar et al., (2018) who tested 260 adult honey bees from 26 apiaries in the province of Van. In this study, DWV and BQCV viral infections were detected at 69.23% and 88.46%, respectively, but ABPV and CBPV could not be found in honey bees collected.

Although DWV is primarily one of the important hosts for honey bees, it can also host insects such as ants (*Messor concolor*). Ant samples collected from Şırnak and Hakkari provinces were tested for DWV and BQCV. In this study, 488 bp DNA fragments for the DWV-RdRP gene (RNA-dependent RNA polymerase) and 568 bp for BQCV- partial CP gene (capsid protein gene) were obtained using genome-specific primers (Rüstemoğlu, 2020). In another comprehensive survey conducted in Hakkari, single and mixed infections combined with BQCV, SBV, and CBPV of DWV were identified in worker bees collected from 90 apiaries (Rüstemoğlu & Sipahioğlu, 2019). Rüstemoğlu, (2019) also reported the DWV in honey bees, detected in 9 out of a total of 24 bees, from Şanlıurfa, Diyarbakır, Mardin, Siirt, and Şırnak provinces using the qRT-PCR test, with an infection rate of 37.75%. Kalaycı et al., (2020) reported six virus DWV, the most widespread virus in 44.7%, ABPV in 35.5%, BQCV in 28.9%, SBV in 22.3%, CBPV in

18.4%, and IAPV in 6.5% of samples collected from 76 apiaries from Bursa, Kütahya, Manisa, İzmir, Aydın, Muğla, and Adana with complaints of the declining colony that (Kalaycı et al., 2020).

Honey bee viruses, which have serious side effects in honey bee colonies, can exist at the colony level or individually as single or mixed infections. Cagırgan & Yazıcı, (2021) developed the multiplex PCR method, which is critical for honey bee infectious diseases and has the potential to simultaneously detect more than one virus. In this practical, advantageous, and time-saving method, reference primers that are compatible with each other adopted by distinct honey bee viral disease researchers were used. A total of 60 samples consisting of 30 adults and 30 larvae collected from 111 apiaries in Kütahya, Manisa, Uşak, İzmir, Denizli, Aydın, and Muğla provinces were tested against common five honey bee viruses using the multiplex PCR method. All viral agents (DWV, BQCV, ABPV, SBV, and CBPV) were detected successfully, with the highest infection rate of DWV in the apiaries visited.

The phylogenetic tree of PCR-amplified sequences (Fig 3) indicated that the origin of Turkey-Erzincan DWV isolates has come from Europe continental, which supports the information reported by Tutkun & Boşgelmez, (2003) that DWV has distributed from Europe to Turkey via ectoparasites varroa in 1976.

## 4. Conclusions and Recommendations

According to our literature screening, this work is the first report of the DWV infecting adult worker honey bees in the Erzincan province of Turkey. Considering the about 24 honey bee agents, a comprehensive survey study is recommended to determine the viral potential in the relevant region. In addition, the existence of any chemical treatment to eliminate viral agents makes it difficult to combat them. It is primarily transmitted by varroa and therefore Varroa and other ectoparasites must be kept under control.

## References

- Abd-El-Samie, EM., Basuny, NK., & Seyam, H. (2021). Molecular characterization of viruses found in honeybee (*Apis mellifera*) colonies infested with *Varroa destructor* and *Nosema cerana* in Egypt. *Molecular and Cellular Probes*, 57: 101731.
- Bailey, L., & Ball, BV. (1991). *Honey bee pathology*. Academic Press; London, United Kingdom.
- Barroso-Arévalo, S., Fernández-Carrión, E., Goyache, J., Molero, F., Puerta, F., & Sánchez-Vizcaíno, J.M. (2019). High Load of *Deformed Wing Virus* and *Varroa destructor* Infestation Are Related to Weakness of Honey Bee Colonies in Southern Spain. *Front. Microbiol.*, 10, 1331.
- Barroso-Arévalo, S., Fernández-Carrión, E., Goyache, J., Molero, F., Puerta, F., & Sánchez-Vizcaíno, J. M. (2019). High Load of Deformed Wing Virus and *Varroa destructor* Infestation Are Related to Weakness of Honey Bee Colonies in Southern Spain. *Frontiers in Microbiology*, 10: 1331.
- Berenyi, O., Bakonyi, T., Derakhshifar, I., Kogelberger, H., & Nowotny, N. (2006). Occurrence of six honey bee viruses in diseased Austrian apiaries. *Applied and Environmental Microbiology* 72: 2414-2420.
- Bingöl, M., & Erkan, C. (2014). Van İli Arı Hastalıkları ve Zararlılarının Belirlenmesine Yönelik Bir Araştırma

- Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi. 5(2): 14-20.
- Cagirgan, A.A., & Yazici, Z. (2021). The prevalence of seven crucial honeybee viruses using multiplex RT-PCR and their phylogenetic analysis. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences* 45(1): 44-55.
- Cagirgan, A.A., Yildirim, Y., & Usta, A. (2020). Phylogenetic analysis of *deformed wing virus*, *black queen cell virus* and *acute bee paralysis viruses* in Turkish honeybee colonies. *Medical. Weterinary*. 76 (8): 480-484.
- Cepero, A., Ravoet, J., Gómez-Moracho, T., Bernal, J. L., Del Nozal, M. J., Bartolomé, C., et al. (2014). Holistic screening of collapsing honey bee colonies in Spain: a case study. *BMC. Res. Notes* 7:649.
- Chen, Y.P., Pettis, J.S., Collins, A., & Feldlaufer, M.F. (2006). Prevalence and transmission of honey bee viruses. *Applied Environmental Microbiology*, 72: 606–611.
- Chen, Y.P., Smith, I.B., Collins, A.M., Pettis, J.S., & Feldlaufer, M.F. (2004). Detection of *Deformed wing virus* infection in honey bees, *Apis mellifera* L., in the United States. *American Bee Journal*, 144: 557-559.
- Cirkovic, D., Stevanovic, J., Glavinic, U., Aleksic, N., Djuric, S., Aleksic, J., & Stanimirovic, Z. (2018). Honey bee viruses in Serbian colonies of different strength. *Peer J*. DOI: 10.7717/peerj.5887.
- Cox-Foster, D.L., Conlan, S., Holme,s E.C., Palacios, G., Evans, J.D., Moran, N.A., Quan, P.L., Briese, T., Hornig, M., Geiser, D.M., Martinson, V., VanEngelsdorp, D., Kalkstein, A.L., Drysdale, A., Hui, J., Zhai, J.H., Cui, L.W., Hutchison, S.K., Simons, J.F., Egholm, M., Pettis, J.S., & Lipkin, W.I. (2007). A metagenomic survey of microbes in honey bee colony collapse disorder. *Science*, 318, 283-287 DOI: 10.1126/science.1146498
- Doğanay, A., & Girişgin, A.O. (2017). Bal arisi yetiştiriciliği ürünleri hastalıkları. In: Doganay A, Aydin L (editors). 1st ed. Bursa: Dora Basın Yayın Dağıtım; pp. 21-146.
- Fievet, J., Tentcheva, D., Gauthier, L., De Miranda, J., Cousserans, F., Colin, M. E., & Bergoin, M. (2006). Localization of *deformed wing virus* infection in queen and drone *Apis mellifera* L. *Virology Journal*, 3:16.
- Foissac, L., Gentit, P., Svanetia-Dumas, L., Dulucq, M. J., & Candresse, T. (2001). Polyvalent detection of fruit tree tricho, capillo, and foveaviruses by nested RT-PCR using degenerated and inosine-containing primers (PDO RT-PCR). *Acta Horticulturae*, 550: 37-43.
- Francis, R.M., Nielsen, S.L., & Kryge, P. (2013). Varroa-Virus interaction in collapsing honey bee colonies. *PLoS ONE*, 8:e57540. DOI: 10.1371/ journal.pone.0057540
- Genersch, E., & Aubert, M. (2010). Emerging and re-emerging viruses of the honey bee (*Apis mellifera* L.). *Vet. Res.* 41:54 DOI: 10.1051/vetres/2010027
- Genersch, E., Von Der Ohe, W., Kaatz, H., Schroeder, A., Otten, C., Buchler, R., Berg, S., Ritter, W., Muhlen, W., Gisder, S., Meixner, M., Liebig, G., & Rosenkranz, P. (2010). The German bee monitoring project: A long term study to understand periodically high winter losses of honey bee colonies. *Apidologie*, 41, 332-352, DOI: 10.1051/apido/2010014.
- Gülmez, Y., Bursalı, A., & Tekin, Ş. (2009). First molecular detection and characterization of *deformed wing virus* (DWV) in honeybees (*Apis mellifera* L.) and mite (*Varroa destructor*) in Turkey. *African Journal of Biotechnology*. 8 (16): 3698-3702.
- Hung, K-LJ., Kingston, J.M., Albrecht, M., Holway, D.A., & Kohn, J.R. (2018). The worldwide importance of honey bees as pollinators in natural habitats. *Proc. R. Soc. B.* 285: 20172140.
- Kalayci, G., Cagirgan, A.A., Kaplan, M., Pekmez, K., Beyazit, A., Ozkan, B., Yesiloz, B., & Arslan, F. (2020). The role of viral and parasitic pathogens affected by colony losses in Turkish apiaries.Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi, 26 (5): 671-677.
- Karapınar, Z., Oğuz, B., Dinçer, E., & Öztürk, C. (2018). Phylogenetic analysis of *black queen cell virus* and *deformed wing virus* in honeybee colonies infected by mites in Van, Eastern Turkey. *Medicine Weterinary*. 74 (7), 460-465.
- Lanzi, G., De Miranda, J.R., Boniotti, M.B., Cameron, C.E., Lavazza, A., Capucci, L., Camazine, S. M., & Rossi, C. (2006). Molecular and biological characterization of *deformed wing virus* of honey bees (*Apis mellifera* L.). *Journal of Virology*, 80: 4998–5009.
- Locke, B., Semberg, E., Forsgren, E., & de Miranda, J.R. (2017). Persistence of subclinical *deformed wing virus* infections in honeybees following Varroa mite removal and a bee population turnover. *PLoS ONE*. 12 (7), e0180910.
- M. Ribière, Ball B.V., & Aubert M. 2008. Natural history and geographic distribution of honey bee viruses M. Aubert, et al. (Eds.), *Virology and the Honey Bee*, European Communities, Luxembourg. 15-84
- Maramorosch, K., & Shatkin, A. (2007). Honey bee viruses. *Advances in Virus Research*. Academic Press. 33-80.
- Martin, S.J., Ball, B.V., & Carreck, N.L. (2013). The role of *deformed wing virus* in the initial collapse of varroa infested honey bee colonies in the UK. *J. Apicult. Res.* 52 251–258.
- Muz, D., Muz, & M.N. (2009). Survey of the occurrence of *Deformed Wing Virus* and multiple parasites of queens (*Apis mellifera* L.) in apiaries with collapsed colonies in Hatay, Turkey. *Journal of Apicultural Research*, 48(3), 204–208.
- Muz, D., Muz, & M.N. (2017). Tekirdağ'da "Koloni Kaybı Sendromu" Benzeri Kayıp Görülen Arılıklarda Bazı Patojenlerinin Araştırılması. *Kocatepe Veterinary Journal*,10(1):21-28.
- Muz, M.N., & Muz, D. (2008). Occurrence and genetic analysis of DWV (*Deformed wing virus*) and ABPV (*Acute bee paralysis virus*) and *Varroa destructor-1 virus* (VD-1) in Turkey. *Proceedings of the 2nd Intenational Forum of Apimondia-Apiquality*, Villa Mondragone, Rome, Italy. pp. 94.
- Posada-Florez, F., Childers, A.K., Heerman, M.C., Egekwu, N.I., Cook, S.C., Chen, Y., Evans, J.D., & Ryabov, E.V. (2019). *Deformed wing virus* type A, a major honey bee pathogen, is vectored by the mite *Varroa destructor* in a non-propagative manner. *Scientific Reports*. 9. 12445. 10.1038/s41598-019-47447-3.
- Reyes-Quintana, M., Espinosa-Montaño, L.G., Prieto-Merlos, D., Koleoglu, G., Petukhova, T., Correa-Benítez, A., & Guzman-Novoa, E. (2019). Impact of *Varroa destructor* and *deformed wing virus* on emergence, cellular immunity, wing integrity and survivorship of Africanized honey bees in Mexico. *Journal Invertebrate Pathology*, 164: 43-48.
- Roberts, J.M.K., Anderson, D.L., & Durr, P.A. (2017). Absence of *deformed wing virus* and *Varroa destructor* in Australia provides unique perspectives on honeybee viral landscapes and colony losses. *Scientific Reports*, 7: 6925.

- Rodríguez, M., Vargas, M., Antúnez, K., Gerding, M., Castro FO., & Zapata, N. (2014). Prevalence and phylogenetic analysis of honey bee viruses in the Biobío Region of Chile and their association with other honey bee pathogens. *Chilean journal of agricultural research*, 74(2), 170-177.
- Rüstemoğlu, M. (2019). Uluslararası Arıcılık Araştırmaları ve Sürdürülebilir Kırsal Kalkınma Stratejileri Kongresi. 11-13 Ekim 2019. Bingöl, Türkiye.
- Rüstemoğlu, M. (2020). Isolation and Characterization of Two Important Honeybee-Killing Virus Species, *Deformed Wing Virus* (DWV) and *Black Queen Cell Virus* (Bqcv) From Messor Concolorants (Hymenoptera: Formicidae). *Applied Ecology and Environmental Research*. 18. 7407-7415. 10.15666/aeer/1805\_74077415.
- Rüstemoğlu, M., & Sipahioğlu, H.M. (2016) : Occurrence and molecular characterization of acute bee paralysis virus (ABPV) in honeybee (*Apis mellifera*) colonies in Hakkari province. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi* 26, 174-182.
- Rüstemoğlu, M., & Sipahioğlu, H.M. (2019). Occurrence and prevalence of six honey bee viruses in Hakkari (Turkey) and their genomic divergence. *Munis Entomology & Zoology*, 14 (2): 574-583]
- Ryabov, E.V., Fannon, J.M., Moore, J.D., Wood, G.R., & Evans, D.J. (2016). The Iflaviruses *Sacbrood virus* and *Deformed wing virus* evoke different transcriptional responses in the honeybee which may facilitate their horizontal or vertical transmission. *Peer J*. 4: e1591.
- Schöning, C., Gisder, S., Geiselhardt, S., Kretschmann, I., Bienefeld, K., Hilker, M., & Genersch, E. (2012). Evidence for damage-dependent hygienic behaviour towards *Varroa destructor* parasitised brood in the western honey bee, *Apis mellifera*. *J. Exp. Biol.* 215, 264–271.
- Shumkova, R., Neov, B., Sirakova, D., Georgieva, A., Gadjev, D., Teofanova, D., Radoslavov, G., Bouga, M., & Hristov, P. (2018). Molecular detection and phylogenetic assessment of six honeybee viruses in *Apis mellifera* L. colonies in Bulgaria. *Peer J*. 2018, doi: 10.7717/peerj.5077.
- Tentcheva, D., Gauthier, L., Jouve, S., Canabady-Rochelle, L., Dainat, B., Cousserants, F., Colin, M. E., Ball, B. V., & Bergoin, M. (2004). Polymerase chain reaction detection of *deformed wing virus* (DWV) in *Apis mellifera* and *Varroa destructor*. *Apidologie*, 35: 431– 439.
- Tutkun, E., & Boşgelmez, A., (2003). Balarısı zararlıları ve hastalıkları teşhis ve tedavi yöntemleri. Bizim Büro Basımevi, Selanik Caddesi 18/11, Ankara.
- Yue, C., Schroder, M., Gisder, S., & Genersch, E. (2007). Vertical-transmission routes for *deformed wing virus* of honeybees (*Apis mellifera*). *J. Gen. Virol.* 88: 2329-2336.



# Effects of Pulsatile and Non-Pulsatile Perfusion On Oxygenator Fibers During Pediatric Cardiopulmonary Bypass

Taylan Gazioğlu<sup>1</sup>, Mustafa Kocakulak<sup>2</sup>, Fatma Ayhan<sup>3</sup>, Hakan Ayhan<sup>4\*</sup>

<sup>1</sup>Hacettepe University, Institute of Pure and Applied Science, Bioengineering Div., Ankara, Turkey. (ORCID: 0000-0003-0225-9887), [taylangazioglu00@yahoo.com](mailto:taylangazioglu00@yahoo.com)

<sup>2</sup>Democracy University, Faculty of Engineering, Biomedical Engineering Department, İzmir, Turkey (ORCID: 0000-0001-5029-0104), [mustafa.kocakulak@gmail.com](mailto:mustafa.kocakulak@gmail.com)

<sup>3</sup>Muğla Sıtkı Koçman University, Faculty of Science, Department of Chemistry, Biochemistry Division, Biochemistry&Biomaterials Research Group, Muğla, Turkey, (ORCID: 0000-0003-2220-4496), [fayhan@mu.edu.tr](mailto:fayhan@mu.edu.tr)

<sup>4\*</sup>Muğla Sıtkı Koçman University, Faculty of Science, Department of Chemistry, Biochemistry Division, Biochemistry&Biomaterials Research Group, Muğla, Turkey, (ORCID: 0000-0003-2911-1655), [hayhan48@gmail.com](mailto:hayhan48@gmail.com)

(First received 1 June 2021 and in final form 21 August 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.917027)

**ATIF/REFERENCE:** Gazioğlu, T., Kocakulak, M., Ayhan, F. & Ayhan, H. (2021). Effects of Pulsatile and Non-Pulsatile Perfusion On Oxygenator Fibers During Pediatric Cardiopulmonary Bypass. *European Journal of Science and Technology*, (27), 193-203.

## Abstract

In cardiopulmoner operations patients can be perfused with a pulsatile or nonpulsatile pump mode. The extra energy maintained by the pulsatile perfusion may have different effects on the patient and the oxygenator fiber rather than nonpulsatile perfusion. Especially the effect of pulsatile perfusion on the fibers isn't clearly known. The purpose of this study is to investigate the effects of pulsatile and non-pulsatile blood flows on oxygenator fibers. 18 out of 32 patients that had an pediatric open heart surgery was chosen according to their aortic clamp times. 9 of 18 patients were perfused in a pulsatile mode, other 9 patients were perfused in a nonpulsatile mode. The patient blood was collected before the open heart surgery (T1), before aortic clamp (T2), after aortic clamp (T3), after 1st intensive care hour (T4) and after the 1st intensive care day (T5) in order to compare the results of whole blood and plasma proteins. At the end of the open heart operation 10 cm of oxygenator fiber was removed from the fiber bundle and taken into the phosphate buffer saline (PBS) solution after the patient had a stabile outcome. Whole blood and micro protein measurements were applied in both first fiber solution and sonicated solution. No harmful effect of pulsatile perfusion on blood cells and proteins was observed according to patient results. More blood cell aggregation and total protein adsorption was observed in nonpulsatile mode fibers results. In this study pulsatile perfusion maintained better blood compability over nonpulsatile perfusion and the extra energy in pulsatile perfusion caused better microcirculation.

**Keywords:** Pediatric Cardiopulmonary Bypass, Extracorporeal Circulation, Pulsatile Perfusion, Nonpulsatile Perfusion, Biocompatibility, Hemocompatibility.

## Pediyatrik Kardiyopulmoner Kalp Ameliyatlarında Pulsatil ve Pulsatil Olmayan Perfüzyonun Oksijenatör Fiberleri Üzerindeki Etkileri

### Öz

Açık kalp ameliyatlarında hastalar pulslu ve pulssuz olmak üzere iki şekilde perfüze edilebilmektedir. Pulslu akışın, pulssuz akışa göre sahip olduğu yüksek enerjinin hastaya ve oksijenatör fiberine farklı etkileri olabilmektedir. Özellikle pulslu perfüzyon tipinin oksijenatör fiberleri üzerine etkileri tam olarak bilinmemektedir. Çalışmanın amacı pulslu ve pulssuz perfüzyonun oksijenatör fiberleri üzerine etkilerinin araştırılmasıdır. Pediyatrik açık kalp ameliyatı geçiren 32 hastadan 18'i uygun aortik çapraz kısıkaç sürelerine göre seçilerek çalışmaya dahil edilmiştir. 18 hastadan 9 çocuk hastaya pulslu, 9 çocuk hastaya pulssuz perfüzyon uygulanmıştır. Kardiyopulmoner bypas öncesi (T1), aorta çapraz kısıkaç ile kapatıldığında (T2) ve açıldığında (T3), yoğun bakım 1. Saatte (T4) ve 24. Saatte (T5) olmak üzere 5 ayrı zaman diliminde tam kan ve plazma proteinleri ölçümlerinin karşılaştırılması için hasta kanları toplanmıştır. Açık kalp ameliyatı sonlandığında ve hastanın yaşamsal belirtileri sabitlendiğinde, kullanılan vücut dışı dolaşım devresinde oksijenatör çıkartılmış, fiber bölgesinden 10 cm'lik fiber parçaları alınarak PBS çözeltisine konmuştur. Fiberlerin bulunduğu bu çözeltide tazelenen ve sonikasyon işlemine tabi tutulan yeni çözeltide tam kan ve mikro-protein ölçümleri yapılmıştır. Hasta sonuçlarına göre pulslu perfüzyonun kan hücrelerine ve plazma proteinlerine olumsuz bir etkisi görülmemiştir. Fiber sonuçlarına bakıldığında sonike edilmiş fiberlerde pulssuz grupta bir miktar daha fazla eritrosit, lökosit ve total protein yüzeye tutunması tespit edilmiştir. Pulslu perfüzyon daha iyi kan uyumluluğu sağlamıştır ve sahip olduğu yüksek enerjiyle daha iyi mikrodolaşım yaratmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Pediyatrik Kardiyopulmoner Bypass, Ekstrakorporal Dolaşım, Pulslu Perfüzyon, Pulssuz Perfüzyon, Biyouyumluluk, Kan Uyumluluğu.

\* Corresponding Author: [hayhan48@gmail.com](mailto:hayhan48@gmail.com).

## 1. Introduction

The cardiopulmonary functions are attained by heart and lung machine, an extracorporeal device, during the large part of cardiopulmonary operations. Doctors often have no alternative rather than this method even if it leads to the disintegration of formed elements of blood, prolongation of healing process and malfunction of organs and tissues at times. In cardiopulmonary operations, patients can be perfused with a pulsatile or nonpulsatile pump mode. Since there are no many studies showing the effects of pulsatile perfusion, it is not clearly known when to apply pulsatile perfusion. On the other hand, nonpulsatile perfusion is employed more frequently than pulsatile one. Studies carried out until now demonstrates the superiority of pulsatile perfusion over nonpulsatile one in terms of tissue metabolism, organ oxygenation and microcirculation (Dündar et. al., 1999; Kocakulak et. al 2005).

However, pulsatile perfusion gives damage to formed elements of blood because it provides blood circulation with high pressure (Qian, 1994; Wright, 1986). Nonpulsatile perfusion enables the blood to flow around the body with the same velocity and pressure but this type of flow is not of physiological nature. Pulsatile perfusion ensures a physiological blood flow similar to that of cardiac and puts a supplement hydraulic power and pressure to use. In extracorporeal circulation, the blood of patients contacts with unfamiliar surface areas and confronts mechanical effects, causing various changes in blood components. The high shear stress of pulsatile perfusion may harm formed elements of blood more than that of nonpulsatile perfusion (Qian, 1995).

Hollow fiber oxygenators are more preferred by the producers of commercial oxygenators due to some deficiencies of membrane and bubble oxygenators. Hollow fiber oxygenators are appropriate for the application of pulsatile and nonpulsatile perfusion. Fibers provide an increase in performance of oxygenators and blood-fiber contact surface, a better O<sub>2</sub>-CO<sub>2</sub> transfer and a decrease in harmful effects of fibers on blood by reducing surface of contact.

Therefore, the optimization of surface areas is one of the most important research-development issues of commercial firms. An oxygenator is a crucial element of extracorporeal system. The interaction between blood-oxygenator fiber has not been widely researched. The disintegration of formed elements of blood during the gas exchange capacity and use of oxygenators is an important field of research. With a surface area of 1.7 m<sup>2</sup>-2.6 m<sup>2</sup>, membrane is where blood is oxygenated and the majority of interactions between blood components takes place (Segers 2001).

When the blood of patient starts to travel around the body extracorporeally, plasma proteins and blood cells adhere to extracorporeal lines and oxygenators (Kirklin 1983). The fiber of oxygenator is the most important part where adherence occurs.

This study aims to examine the effects of pulsatile and nonpulsatile perfusion on patients and oxygenator fibers. The effects and type of surgeries are taken into account as well. In doing so, the differences between pulsatile and nonpulsatile perfusions are to be found and the choice of perfusion type is to be facilitated.

## 2. Material and Method

This study aims to find out the effect of heart-lung machine, which is used in extracorporeal circulation during open heart surgeries, on oxygenator fibers during pulsatile and nonpulsatile perfusions. Thus, the effects of pulsatile and nonpulsatile perfusions on patients and oxygenator fibers are together examined. The section below explains the conduction of the study, the materials to be used and their effects on the study.

### 2.1. Patients

The operations were performed by the surgeons of Başkent University, Department of Cardiology. 18 out of 32 patients (up to 14 years of age), who underwent pediatric open heart surgery, are selected regarding aortic clamp periods and included in this study (Table 1). The reason is that the damages to formed elements of blood tend to increase as a result of extracorporeal circuit. This increase especially reaches top in aortic cross-clamping process when circulation is provided by a pump. For this reason, 18 patients whose timing of aortic cross-clamping treatments were near are selected. Half of these patients experienced pulsatile, the other half nonpulsatile perfusion. The team performing open heart surgeries was composed of the surgeons and their assistants, anaesthetists and their assistants, perfusionist responsible for the use of heart-lung machine, personnels responsible for the provision of operation tools and nurses.

Table 1. Patients

	Pulsatile	Nonpulsatile
Total Patients	9	9
No of Patients M/F (female)	3	6
No of Patients M/F (male)	3	3
Age (month)	17.2±12.8	18.3±13.2
<b>Operation</b>		
VSD	4	4
ASD	2	2
ASD+VSD	1	
TOF	1	2
Senning	-	1
DSM	1	-

### 2.2. Anesthesia

Pavulon, dormicum and fentanyl anesthetic agents are given intravenously to patients by injecting catheter into axillary artery and peripheral vein. Following the placing of a tube into the windpipe, the patient is connected to a mechanised ventilator. Oxygen and anesthetic agents are given to patient by using the ventilator

### 2.3. Perfusion

Pediatric patients have a faster metabolic rate and more blood per kg than adults. Therefore, pediatric patients need more oxygen. Their heat loss rates are higher (Table 2). The flow rate under normal conditions is 2.4 L/m<sup>2</sup>/min. There are many formulas to measure the body surface area of the patient. S. Anderson's formula is as follows:  $m^2 = [(kg \times 4) + 7] / (90 + kg)$  Determination of flow is:  $Flow = m^2 \times cardiac\ index\ (C.I)$ . Cardiac index is the amount in liter/min/m<sup>2</sup>. These values are shown in Table 3.

Even though the cardiac index is higher among pediatric patients, an amount of 1-1.5 liter proves to be adequate for total flow since pediatric patients have a lower weight and a smaller body surface area.

Table 2. Information about Perfusion.

	Pulsatile	Nonpulsatile
Pulse (no/min.)	123	131
Area (m <sup>2</sup> )	0.41	0.44
Flow (lt/min)	1142	1255
Priming solution (ml)	1075±175	1125±150
Time of Bypass (min.)	72±18	71±19.5
Aortic cross-clamp period (min.)	49.5± 16.5	47.5±19.5

Table 3. Cardiac index rates according to age.

Age	Cardiac index
0-1	3
1-2	2.8
2-3	2.7
3-4	2.6
4-12	2.5
12+	2.4

## 2.4. Pulsatile and Nonpulsatile Flow

The rate of nonpulsatile flow among patients are determined by considering age, weight and body surface area. Given the nature of nonpulsatile perfusion, perfusions are applied continuously in patients. The pulsatilely perfused patients have a perfusion which causes a 30-35 mmHg pressure in radial artery by adjusting a minimum pulse wave value which is 25-30% of the maximum value with a pulse-width of 50%, and equalizing the pulsating rate per minute. A control button on the pulsatile pump helps start pulsatile perfusion. Figure 1 indicates the passage from nonpulsatile flow to pulsatile one.

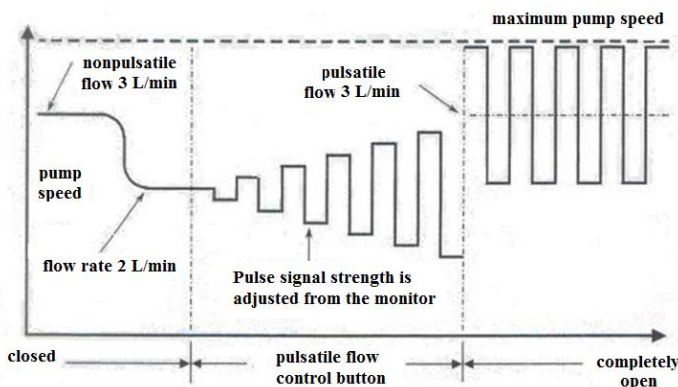


Figure 1. Pulsatile and Non-pulsatile flow demonstration

## 2.5. Protection of Myocardium

80 ml. blood flow is normally adequate for 100 gr. Myocardium. This need is ten times bigger than that of the other body tissues. This is because myocardium entails higher amount of energy. Besides, skeletal muscle consume 25% of the oxygen in blood whereas the consumption of myocardium is 75%. The cardiac requires blood circulation with a high level. The body temperature of the patient is reduced to 24-26°C on average for the protection of myocardium. As a result, the need for oxygen and nutrient diminishes. Plus cold cardioplegia is given. The

reason is to prevent the consumption of energy by disallowing the working of cardiac under ischemic conditions following aortic clamping. For this, following aortic closure with a clamp, cold cristalloid cardioplegia solution is given from aortic root through anterograde cannula and from coronary ostium through retrograde cannula and cold blood cardioplegia solution is given with 20-minute intervals. There is a high amount of potassium, K<sup>+</sup> in the solution to prevent the heart from stopping. The ingredients of cardioplegia solution are as follows: 25 ml Potassium, 6 ml Magnesium sulfate, 6 ml citrate, 1 ml sodium bicarbonate, 200 ml 10% dextrose.

## 2.6. The collection of blood samples

For the tests to be performed in 5 different time intervals, the samples are collected in 5 ml-biochemistry tubes with gel (SST 2, BD, England), 2.7 ml-fibrinogen citrate tubes (9NC, BD, England) and 4 ml-EDTA tubes (K2E, BD, England). The time intervals are such: before T1-Open heart surgery, T2-the aortic closure with cross clamping, T3-the aortic disclosure of cross clamping, T4-intense care first hour and T5-intense care 24. hour.

## 2.7. The collection of fiber samples from oxygenators

When the open heart surgery is finalized and the life conditions of the patients becomes stable again, the oxygenator is removed in extrcorporeal circuits. The external cover of the removed oxygenator is opened by a diamond coated cutter. 300 fibers with an approximate length of 10 cm (±10%) are extracted from the oxygenator by a surgeon's knife under sterilized conditions. The extracted fibers are put into 40 ml-sterilized containers with 10 ml sterile serum physiological solutions.

## 2.8. Studies with blood samples

The operations are performed at Başkent University Hospital, Department of Cardiovascular Surgery and the blood analysis obtained at five different time intervals are made at Gülhane Military Medical Academy, Department of Biochemistry. Complete blood counts are made by Cell-Dyn 4000 (Abbott Diagnostics, USA) cell counter and the biochemical tests are performed by Olympus AU2700 (Olympus Diagnostics, Japan) autoanalyzers and coagulation tests are made by Amax 190 (Tokra, Turkey) devices. The tests determine the total amount of: Proteins, Erythrocytes, Platelets, Haematocrits, Haemoglobins, Fibrinogens, Albumins and Bilirubins.

## 2.9. Studies with oxygenator fibers

After the open heart surgery, fibers from oxygenator put into 10 ml-serum physiological containers are taken into 10 ml-serum physiological containers again and are sonicated for 2 hours. 2 solutions, one from oxygenator fibers and the other one taken from oxygenator fibers and sonicated, are obtained as a result. All the same blood and biochemical tests are performed on these two solutions and it the effects of pulsatile and nonpulsatile perfusion on fibers are tried to be understood. The measurements are realized by increasing the sensitiveness of the devices.

### 3. Results and Discussion

The aim of this study is to research the effects of pulsatile and nonpulsatile perfusion on oxygenator fibers and on the healing process of the patients. For this reason, 18 patients are included in this study. 5 blood samples of each patients are obtained at five different time intervals and biochemical and complete blood counts are realized. At the end of the operations, the fibers are extracted from oxygenators and they are stored in 10 ml serum physiological solutions. These fibers, then, are taken into 10 ml serum physiological solutions and sonicated for two hours. Biochemical tests and complete blood counts of the first group of sonicated fiber solutions are realized and microprotein and blood cells are investigated. The periods and abbreviations are defined as: before T1: Open heart surgery, T2: the aortic closure with cross clamping, T3: the aortic disclosure of cross clamping, T4: intense care first hour and T5: intense care 24.hour.

#### 3.1. The results obtained from blood samples

##### 3.1.1. Results of blood cells

This section of the study shows the analysis of blood cells made at five different time intervals among patients who experienced pulsatile and nonpulsatile perfusion. The determination of erythrocytes, leucocytes, haemoglobins and haematocrits are made. All complete blood tests and analysis of the 9 patients selected from each group are made. The average results of each group are determined and each parameter is shown, analyzed and discussed below in a detailed way.

##### 3.1.1.1. Erythrocytes (red blood cells)

During the extracorporeal circulation of blood, there appear changes in the amount of blood cells due to their contact with foreign substances and mechanical effects. The preliminary solution of oxygenator and the mechanical effects of the pumps cause haemolysis and the number of erythrocytes decrease when the operation begins. This case was reported by Martin R. and his colleagues in 1989. When the amount of erythrocytes are examined in Figure 2, it is seen that the preliminary average of nonpulsatile group is  $4.3 \times 10^6$  cells/ $1 \text{ mm}^3$ ; it is  $3.7 \times 10^6/1 \text{ mm}^3$  among pulsatile group. There appears no important difference between these two groups. When operation begins (T2), the average erythrocyte amount starts to decrease because of blood trauma and hemodilution. The number of RBC becomes  $3.7 \times 10^6$  cell/ $\text{mm}^3$  for nonpulsatile and  $3.4 \times 10^6$  cell/ $\text{mm}^3$  for pulsatile group. During the operation, the amount of erythrocytes remains stable because blood is given to patient when required in order to keep the haematocrite value on credible boundaries. Therefore, following the aortic closure of cross clamping, the erythrocyte amounts become  $3.6 \times 10^6$  cell/ $\text{mm}^3$  for each group in T3. In T4, the first hour of intense care, blood is continuously given to the patient. This is why there appears an increase of erythrocytes in the pulsatile group more than that of nonpulsatile one. The average erythrocyte amounts of nonpulsatile and pulsatile groups are found to be  $5.2 \times 10^6$  cell/ $\text{mm}^3$  and  $5.6 \times 10^6$  cell/ $\text{mm}^3$ , respectively. In T5 of first day-intense care, the erythrocyte amounts decrease and reach normal levels. The erythrocyte amounts of nonpulsatile and pulsatile groups occur to be  $4.5 \times 10^6$  cell/ $\text{mm}^3$  and  $4.7 \times 10^6$  cell/ $\text{mm}^3$ , respectively. A general evaluation is made and it is found out that there occurs no such important difference between these two groups at the end of the operation and during intense care period. However,

the patients of nonpulsatile group tend to protect erythrocytes better than the pulsatile group during the healing processes of the patients. This is why it is easier to comment that pulsatile perfusion is better than nonpulsatile perfusion in terms of healing of patients and blood compatibility. In 1994, Wright M. and his colleagues showed that pulsatile perfusion provided a microcirculation better than that of nonpulsatile perfusion and for that reason, pulsatile perfusion makes it more efficient for erythrocytes to join blood circulation after operation (Martin et. al., 1989; Wright 1994).

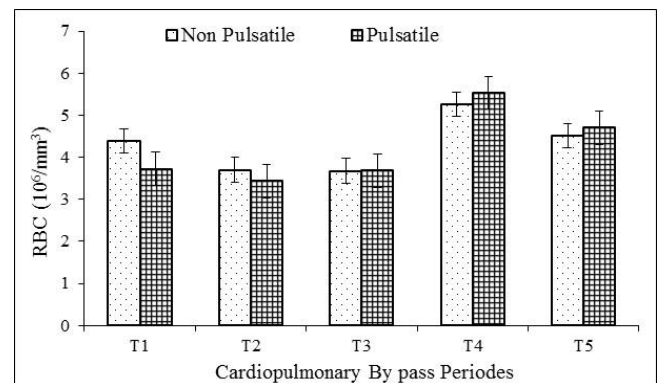


Figure 2. Erythrocytes (RBC) at 5 different time intervals during Cardiopulmonary Bypass Period.

##### 3.1.1.2. Leucocytes (white blood cells)

Figure 3 shows the amounts of leucocytes of each group before the operation. A healthy child has 3.000-10.000 cell/ $\text{mm}^3$  of leucocytes. The amounts of leucocytes of the two groups are found similar before operation. In T1 during operation, the average amounts of leucocytes of nonpulsatile and pulsatile groups are 8.700 cell/ $\text{mm}^3$  and 8.300 cell/ $\text{mm}^3$ , respectively. In T2, the average leucocyte values for nonpulsatile and pulsatile groups are 5.300 cell/ $\text{mm}^3$  and 4.800 cell/ $\text{mm}^3$ , respectively. This is in accordance with literature as well. The amount of leucocytes tend to decrease as a result of blood's contact with foreign substances in hemodilution and perfusion. In T3 when cross clamping is removed from aorta, the amount of leucocyte starts to increase and the average amount of leucocytes of nonpulsatile and pulsatile groups become 5.600 cell/ $\text{mm}^3$  and 7.100 cell/ $\text{mm}^3$ , respectively. In T4 and T5 of intense care, the amounts of leucocytes continue to rise constantly. The average amount of leucocytes of nonpulsatile and pulsatile groups occur to be 10.600 cell/ $\text{mm}^3$  and 11.500 cell/ $\text{mm}^3$  in T4, respectively; in T5, the amounts are 13.900 cell/ $\text{mm}^3$  and 14.800 cell/ $\text{mm}^3$  for nonpulsatile and pulsatile groups, respectively. It can be said that the difference in rise between two groups is not considerable but it is higher in pulsatile group. The contact of blood with extracorporeal circuit increases the production of leucocyte cells in blood. In 1983, Kirklin and his colleagues had reported that the contact of blood with extracorporeal circuit increased the production of leucocytes in blood during open heart surgery (Kirklin 1983). After open heart surgery, the amount of leucocyte increase rapidly. This increase is more evident when heating is restored and aortic cross clamping is removed. This was reported by Quiroga and his colleagues in 1985 (Quiroga et. al., 1985). The come-back of the original amount of leucocytes after operation is considered to be the result of the increase of body temperature and blood flow in bone marrow. It is observed that the leucocyte increase tends to continue a couple of days

after the operation. It is possible to reach the result that extracorporeal circuits causes plasma proteins, platelets and leucocytes adhere to surface and this partially affects the general biocompatibility of the system. In addition, another study indicates that platelets and leucocytes combine, form clusters and join the blood circulation and leads to pulmonary dysfunction by adhering to pleura in spite of all measures taken against the blood-extracorporeal circuit contact (leucocyte filter-heparinization of circuit etc.) (Kirklin 1983).

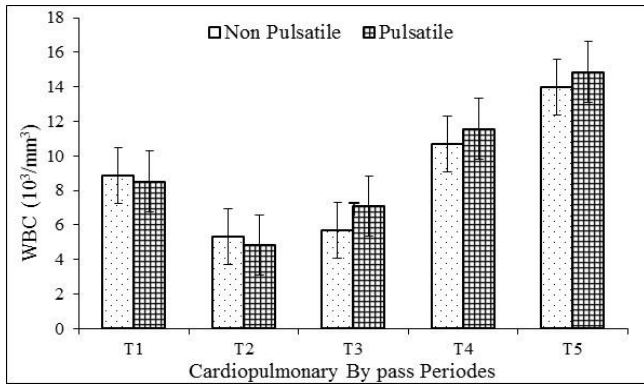


Figure 3. Leucocytes (WBC) at 5 different time intervals during Cardiopulmonary Bypass Periods.

### 3.1.1.3. Haemoglobin

During and after the operation, it is important to measure and control the level of haemoglobin in case of oxygenations of tissues and organs. Under normal conditions, the haemoglobin level of children is 10-13 g/dl. The amount of haemoglobin, a molecule bound to oxygen in erythrocyte, in blood is compatible with that of erythrocyte in Figure 4. The haemoglobin levels of patients of each group are given in Figure 12. The preliminary values of nonpulsatile and pulsatile groups are 11.6 g/dl and 10.9 g/dl, respectively.

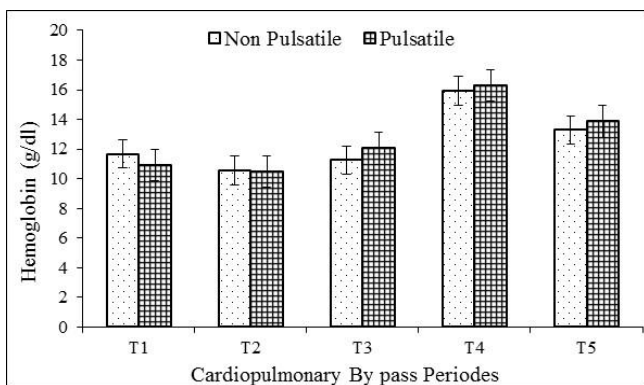


Figure 4. Hemoglobine amounts at 5 different time intervals during Cardiopulmonary By pass operation.

When the operation begins, the average haemoglobin levels of each group decrease due to hemodilution. The measured haemoglobin amounts are 10.5 g/dl for nonpulsatile group and 10.4 g/dl for pulsatile group. It is known that the amount of haemoglobin generally tends to increase during operation. This study, in parallel, shows that the haemoglobin levels increase in each group in T3. The levels are found to be 11.2 g/dl and 12.0 g/dl for nonpulsatile and pulsatile groups, respectively. The haemoglobin increase of pulsatile group is found higher. In T4, the haemoglobin levels increase because of giving blood to patients and average haemoglobin amounts are found to be 15.9 g/dl and 16.3 g/dl for nonpulsatile and pulsatile groups, respectively. Following T4, the haemoglobin levels start to decrease and returns to normal levels. In T5, the haemoglobin amounts of nonpulsatile and pulsatile groups are 13.2 g/dl and 13.8 g/dl, respectively. When the differences in haemoglobin levels of T1-T5 are checked, the difference for nonpulsatile group is 1.6 g/dl. It is 2.9 g/dl in pulsatile group. According to these results, it can be said that the type of perfusion affects the amount of haemoglobin even if the effect is small. The study carried out by Driessen and his colleagues had showed that the type of perfusion did not change the amounts of haemoglobin, hematocrit and platelet (Driessen et. al., 1995).

g/dl and 16.3 g/dl for nonpulsatile and pulsatile groups, respectively. Following T4, the haemoglobin levels start to decrease and returns to normal levels. In T5, the haemoglobin amounts of nonpulsatile and pulsatile groups are 13.2 g/dl and 13.8 g/dl, respectively. When the differences in haemoglobin levels of T1-T5 are checked, the difference for nonpulsatile group is 1.6 g/dl. It is 2.9 g/dl in pulsatile group. According to these results, it can be said that the type of perfusion affects the amount of haemoglobin even if the effect is small. The study carried out by Driessen and his colleagues had showed that the type of perfusion did not change the amounts of haemoglobin, hematocrit and platelet (Driessen et. al., 1995).

### 3.1.1.4. Hematocrit

The normal hematocrit rate among children is % 30-40. Hematocrit rate equals to erythrocyte amount/total blood. it is of vital importance to keep the erythrocyte level during operation. Haemoglobin and hematocrit levels are checked constantly by blood gas analyzer. The sudden decrease in hematocrit levels is considered as bleeding. The changes of hematocrit levels are shown in Figure 5.

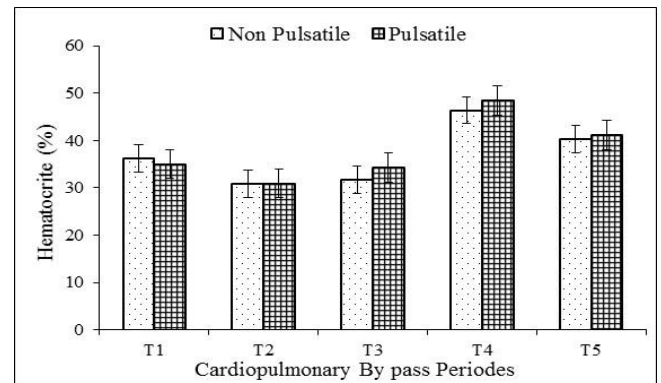


Figure 5. Hematocrit values at 5 different time intervals during Cardiopulmonary By pass operation.

The preliminary average hematocrit rates of nonpulsatile and pulsatile groups are % 36.1 and % 35.1, respectively. When open heart surgery begins, both groups exhibit a decrease in hematocrit rates. This can be explained by the application of oxygenator preliminary solution (hemodilution) on patients. In T2, the hematocrit rate of nonpulsatile group decreases to % 30.7; it decreases to % 30.9 among pulsatile group. In T3 when the aortic cross clamping is disclosed, the average hematocrit rate of both groups tend to increase. This is often because of the blood given to patients during operation. In T3, the average hematocrit rate of nonpulsatile and pulsatile groups are % 31.7 and % 34.4, respectively. In the first hour of intense care, hematocrit rates increase suddenly since patients are given blood; hematocrit rate of nonpulsatile group becomes % 46.3 while it is % 48.3 in pulsatile group. In the 24. Hour of intense care, the hematocrit rates of both groups reach normal levels: % 40.2 in nonpulsatile group and % 41.0 in the pulsatile one. As it can be understood from the results obtained, the perfusion type does not change the amounts of erythrocyte, haemoglobin, hematocrit and platelet (Driessen et. al., 1995).



### 3.1.1.5. Platelet (Thrombocytes)

One of the worst effects after open heart surgery is the decrease in the amount of platelet in blood (Ciaverella et. al., 1990). There are two negative sides of the decrease of platelet. The first one is the risk of coagulation following the adhesion of platelets to extracorporeal circuit; the second one is the high risk of bleeding as a result of loss of platelet (Schmidt et. al., 1961). Besides, studies showed that pediatric bleeding is more prevalent than that of adults (Boldt et. al., 1993). The number of platelets in blood under normal conditions ranges between 170.000 and 380.000. Average platelet amounts for each operation phase obtained by the operations performed within the framework of this study are shown in Figure 6.

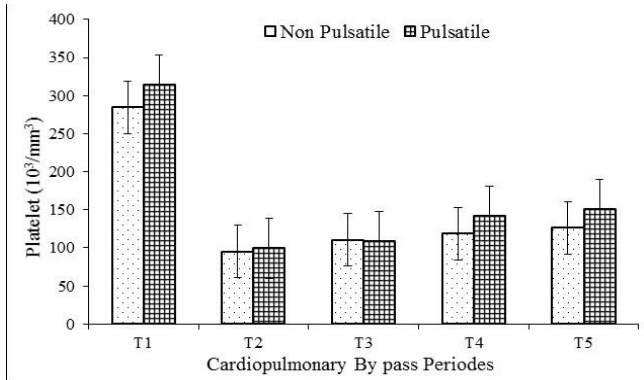


Figure 6. Platelet values at 5 different time intervals during Cardiopulmonary By pass operation.

In T1, the rates of platelet of nonpulsatile and pulsatile group are measured as 285.000 cell/mm<sup>3</sup> and 315.000 cell/mm<sup>3</sup>, respectively. According to the studies of literature, the amount of platelet rapidly decreases as the operation commences; it drops even by 50-60%. In T2, the amount of platelet of nonpulsatile and pulsatile groups are 95.000 cell/mm<sup>3</sup> and 98.000 cell/mm<sup>3</sup>, respectively. Following this phase, the number of platelets are expected to exhibit a slight decrease or retain its value. Thus, this study demonstrates that the amounts of platelet in T3 are close to those of T2. The measured average values of platelets of nonpulsatile and pulsatile groups are found to be 110.000 cell/mm<sup>3</sup> and 108.000 cell/mm<sup>3</sup>, respectively. In parallel of these, a stable increase in the amounts of platelets of both groups is observed in T4 and T5; this increase is higher in pulsatile group. In T4, the average amount of platelet of nonpulsatile and pulsatile groups are found to be 118.000 cell/mm<sup>3</sup> and 142.000 cell/mm<sup>3</sup>, respectively. In T5, the amounts are 126.000 cell/mm<sup>3</sup> and 151.000 cell/mm<sup>3</sup> for nonpulsatile and pulsatile groups, respectively.

#### A General Evaluation and Results on Blood Cells:

The blood of patients contacts with foreign substances and is exposed to mechanical effects in perfusion during extracorporeal circulation, resulting in changes in blood components. One of the most important changes is the disintegration of red blood cells (haemolysis). When all phases (T1-T5) are checked, no erythrocyte loss is detectable in both groups. When the other blood cells are examined, it is not possible to find out a reasonable distinction between the two groups. The results of this study are in compatible with those of literature. Taylor and his colleagues accumulated some experiences from their study which examined the post-pulsatile perfusion results of 200 patients. They found out that a routine pulsatile perfusion having

a roller pump system had nothing to do with the decrease in blood cells and platelets (Taylor 1981). According to Song, Driessen and their colleagues, pulsatile and nonpulsatile perfusion are reported to have no effect on the amounts of haemoglobin, platelet and leucocyte (Driessen et. al., 1995), Song&Wang, 1997). It is detected that the changes in the amounts of blood cells depend on aspiration, working conditions of the system, correct choice of cannule, oxygenator (coated or not), type of operation and biomaterials used for patient's treatment. The reason why blood cell values prove to be better in pulsatile group is that pulsatile perfusion provides a better microcirculation and the blood cells join the circulation more in pulsatile perfusion (Kocakulak et. al., 2005; Wright 1995).

### 3.1.2. Results of blood proteins

This section of the study determines the blood proteins obtained at five different time intervals from patients who experience pulsatile and nonpulsatile perfusion. To that end, analysis of total protein, albumin and fibrinogen are realized. All blood counts and analysis of each group consisting of 9 patients are made and the average of the results of each group are measured. Each parameter coming from these results are discussed and shown below in detail.

#### 3.1.2.1. Total Protein

The normal total protein of children is 5.5-8 g/dl. The average total protein amounts obtained from the operation performed under this study are indicated for each phase in Figure 7.

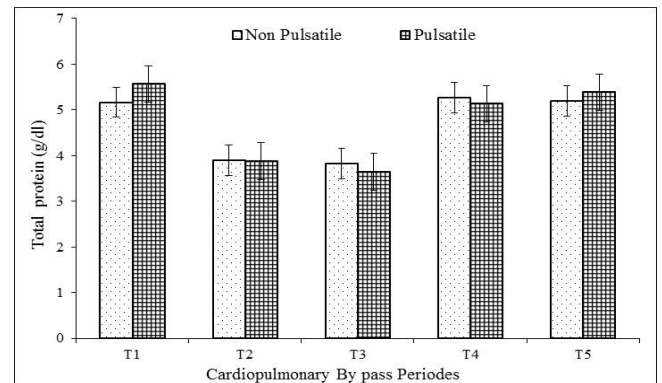


Figure 7. Analysis of Total Protein values at 5 different time intervals during Cardiopulmonary By pass operation.

Before the operation, the average total protein of nonpulsatile group is 5.1 g/dl while it is 5.5 g/dl in pulsatile group. As the operation starts, the total protein amount decreases as a result of hemodilution and the amount becomes 3.9 g/dl in each group in T2. In T3, the average total protein amount of nonpulsatile group is found to be 3.8 g/dl while it is 3.6 g/dl in pulsatile group. In the first hour of intense care, the protein amount reaches normal levels rapidly. The average total protein amounts of nonpulsatile and pulsatile groups are measured as 5.2 g/dl and 5.1 g/dl, respectively. In T5, the average total protein amounts of nonpulsatile and pulsatile groups become 5.2 g/dl and 5.4 g/dl, respectively. When the phases, T1-T5, are examined for each group, there appears no difference. The type of perfusion does not change the amount of protein. However, the problems arising from the differences between the flow regimes of each perfusion system should not be neglected.

The way and rate the blood contacts with foreign substance can cause three-dimensional deformation in blood cells and blood proteins. Tanaka and his colleagues reported that not only the quantity but also the conformation change of the adhered proteins influenced the adhesion of platelets (Tanaka et. al., 2000). Moreover, Andrade and his colleagues showed in 1985 that when a foreign substance had a contact with blood, blood adhered to the surface of the foreign substance suddenly and blood-adhered surfaces triggered other formations such as platelet adhesion and coagulation (Andrade&Hlady, 1987). Starting from this point of view, there appears no such important difference in terms of total protein amounts for each group; it can be also said that pulsatile perfusion brings about less structural changes and adhesions.

### 3.1.2.2. Albumin

The blood value of albumin, the binding protein in blood, is generally in parallel with total protein amounts. The average albumin amounts obtained from the operation performed under this study are indicated for each operation phase in Figure 8.

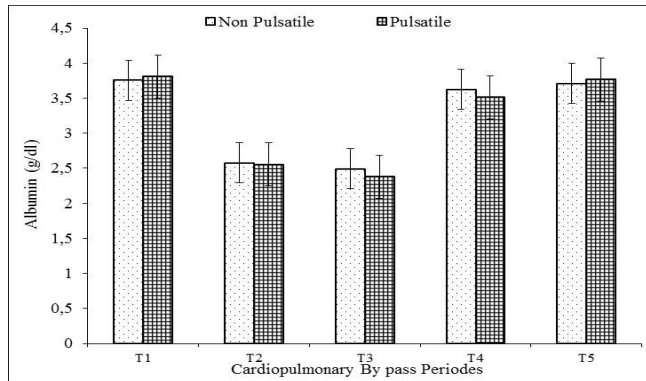


Figure 8. Analysis of Albumin values at 5 different time intervals during Cardiopulmonary By pass operation.

The preliminary albumin amounts of nonpulsatile and pulsatile groups are 3.7 g/dl and 3.8 g/dl, respectively. When the operation begins, the albumin amounts decrease as a result of hemodilution. In T2, the average albumin amount for the two groups is found to be 2.5 g/dl. Following the disclosure of aortic cross clamping in T3, the average albumin amounts of nonpulsatile and pulsatile groups are calculated as 2.5 g/dl and 2.4 g/dl, respectively. When intense care commences, the albumin amounts rapidly reach normal levels in parallel with the total protein amount. In T4, the average albumin amounts of nonpulsatile and pulsatile groups become 3.6 g/dl and 3.5 g/dl, respectively. At the end of the first day in intense care unit, the average albumin value in blood stabilize totally. In T5, the albumin amount of nonpulsatile group is 3.71 g/dl while it is 3.76 g/dl for pulsatile group. T1-T5 difference between two groups is measured as 0.4 g/dl. The perfusion type does not change albumin's adhesion to surface and the blood values of the patients.

### 3.1.2.3. Fibrinogen

Fibrinogen, a component in the coagulation of blood, is the protein which adheres to the surface the easiest when blood encounters foreign substances (Hyde et. al., 1998). The adhered proteins often leads to platelet activation. Under these circumstances, coagulation is formed easier (Niewiarowski & Holt 1998). The normal values of fibrinogen in blood ranges

between 200-450 mg/dl. The average fibrinogen amounts of this study are shown for each operation phase in Figure 9.

The preliminary average fibrinogen amounts of nonpulsatile and pulsatile groups are 257 mg/dl and 252 mg/dl, respectively. Due to hemodilution, the fibrinogen amount drops by 50% (Vroman&Adams, 1969).

In T2, the average fibrinogen amount of nonpulsatile and pulsatile groups are found to be 157 mg/dl and 163 mg/dl, respectively. In T3, this value is retained and the average fibrinogen amounts of nonpulsatile and pulsatile groups are calculated as 154 mg/dl and 145 mg/dl, respectively.

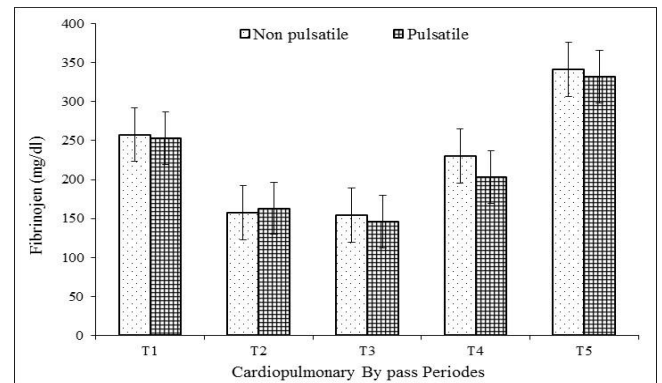


Figure 9. Analysis of Fibrinogen values at 5 different time intervals during Cardiopulmonary By pass operation.

In intense care unit, fibrinogen level of patients start to increase in compliance with anti bleeding drugs and body balance. In T4, the average fibrinogen amounts of nonpulsatile and pulsatile groups become 230 mg/dl and 202 mg/dl, respectively. This level tends to remain high one week after patients are discharged from hospital. In the first day of intense care, in T5, the average fibrinogen amounts of nonpulsatile group is 341 mg/dl while it is 330 mg/dl in pulsatile group. The type of perfusion does not change the amount of fibrinogen.

### A General Evaluation and Results on Blood Proteins:

When blood test results are evaluated from the angle of all plasma proteins, there appears no meaningful difference in terms of surface adhesion. At the end of first day in intense care unit, the total protein and albumin amounts return to normal levels. The amount of fibrinogen increases because of the drugs given in order to prevent bleeding in intense care. Following proteins' adhesion to surface, the surface characteristics start to change (Vroman&Adams, 1969). The adhesion of proteins to surface facilitates the activation and adhesion of platelets to surface (Baier&Dutton, 1969). The coating of surface with heparin or protein derivatives is important for the prevention of blood trauma and adhesion of proteins to surface (Wimmer-Greinecker et. al., 1999). All blood proteins's amounts decrease as a result of hemodilution and blood trauma when bypass starts. 24-hours after the operation, it is observed that the type of perfusion applied on patients does not contribute to the results meaningfully. In this study, it is found out that pulsatile perfusion does not present any difference in terms of the proteins' adhesion to surface and protein loss.

### 3.2. Oxygenator Fibers Study

The plasma proteins and cells in blood adhere to surface when blood contacts with biomaterial surfaces (Wimmer-Greinecker et. al., 1999). This is valid for all materials used and during open heart surgery. Oxygenator, one of the materials used during open heart surgery, is one of the equipments which has a dense contact with blood since the large surface area of the fibers inside oxygenator is focus of interest for researchers. The surface area in question generally ranges between 1.7m<sup>2</sup>-2.6m<sup>2</sup> and it provides the oxygenation of blood. The great part of interaction of blood componenets takes place here (Segers et. al., 2001). Therefore, the effects of the method differences and oxygenator types on open heart surgery and healing processes of patients are determined by blood componenets adhered to fibers inside the oxygenator used within the system of open heart surgery. When the patient's blood joins the circulation extracorporeally, the plasma proteins and cells adhere to extracorporeal lines and oxygenator (Kirklin 1983). Oxygenator fibers are one of the places where adhesion of blood occurs. In line with this study, the fibers inside the oxygenator are cut, extracted. The amount of blood adhered to fibers are checked.

After the operation and the stabilization of the patient, the fibers cut from oxygenator are put into 10 ml serum physiological solutions. These solutions are called solutions No. 1 under examination. Then, the solutions of the fibers are renewed with 10 ml serum physiological solutions. The new solutions are called solution No. 2. The fibers in solution No. 2 are sonicated for two hours. The solution sonicated and solution No. 2 are examined on pulsatile and nonpulsatile groups. The results obtained are presented and interpreted in this section below.

#### 3.2.1. Results of Blood Cells

This section of the study examines the amounts and behaviours of blood cells adhered to fibers cut from oxygenator used in open heart surgeries.

##### 3.2.1.1. Erythrocytes (RBC)

The average erythrocyte amounts obtained from fibers are shown for each type of operation in Figure 10a and 10b.

The erythrocyte amounts of nonpulsatile group and pulsatile groups are calculated as 33.880 cell/mm<sup>3</sup> and 26.330 cell/mm<sup>3</sup>, respectively. In solution No. 1 while the values of nonpulsatile and pulsatile groups are 2.880 cell/mm<sup>3</sup> and 1.630 cell/mm<sup>3</sup>, respectively in solution No. 2. Just like the other formed particles, the erythrocyte adhesion is less in pulsatile group.

Due to the blood residuals packed between fibers in solution No. 1, it is reasonable to see an amount of blood cells. However, when solution No. 1 is removed and solution No. 2 is located and sonicated, the erythrocyte amount calculated is meaningful.

The number of erythrocytes in nonpulsatile group is higher than that of pulsatile one. The way and rate the blood contacts with foreign substance in pulsatile group can cause deformations in the structure of blood cells. The conformation change in adhered proteins may lead to this outcome as well. This way of interpretation puts forward that open heart surgery with pulsatile perfusion contributes to blood compatibility more than that of nonpulsatile group in terms of erythrocyte cells.

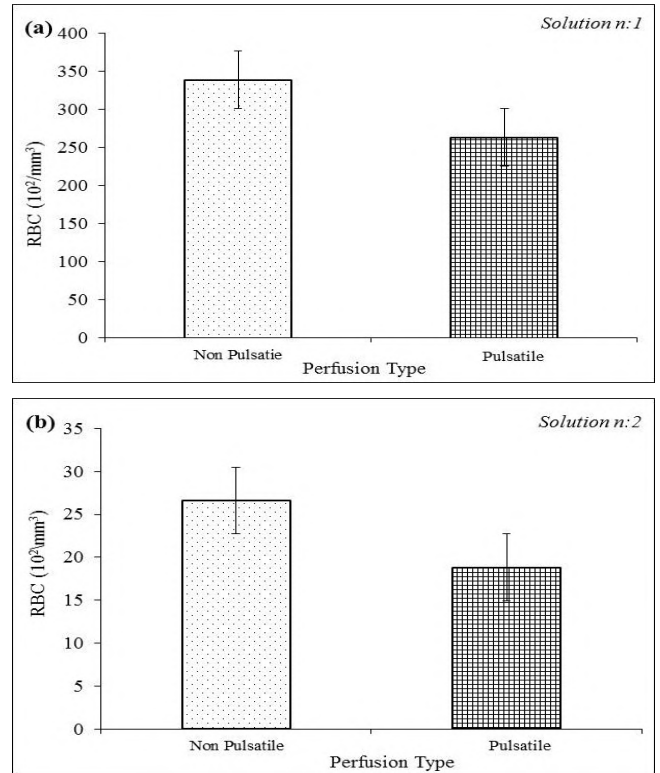


Figure 10. Average RBC cell amounts from fiber surfaces. a) From solution No.1; b) From solution No.2.

##### 3.2.1.2. Leucocytes (WBC)

The average leucocyte amounts obtained from fibers are shown for each type of operation in Figure 11a and 11b.

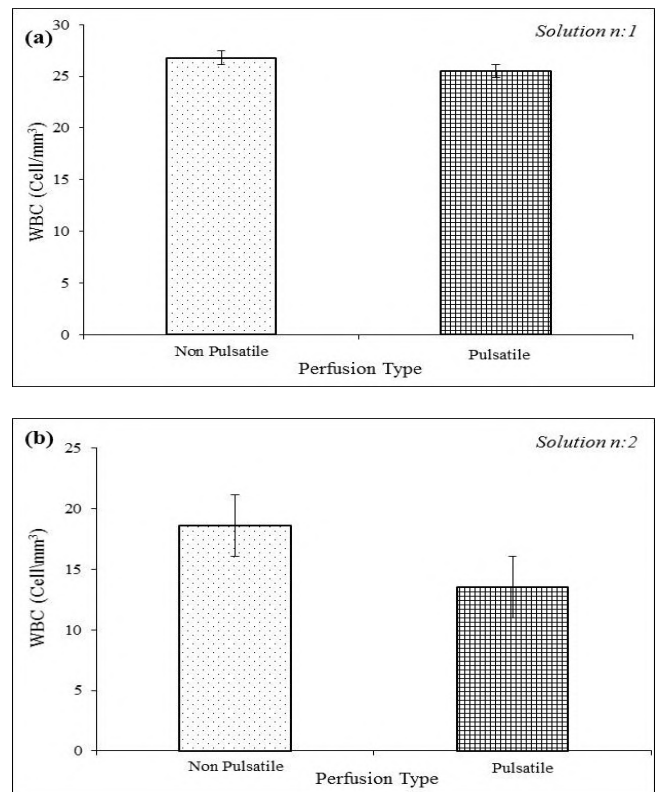


Figure 11. Average WBC cell amounts from fiber surfaces. a) From solution No.1; b) From solution No.2.

As seen from the figure, the leucocyte amounts of nonpulsatile group and pulsatile groups are calculated as 26.8 cell/mm<sup>3</sup> and 25.5 cell/mm<sup>3</sup>, respectively. In solution No. 1 while the values of nonpulsatile and pulsatile groups are 18.6 cell/mm<sup>3</sup> and 13.5 cell/mm<sup>3</sup>, respectively. In solution No. 2. Since the first solution includes an amount of blood proteins, it is normal to observe a higher value in solution No. 1.

The number of leucocytes in nonpulsatile group is higher than that in pulsatile one. The way and rate the blood contacts with foreign substance in pulsatile group can cause three-dimensional deformations in the structure of blood cells. Starting from this point of view, the difference between two groups may lead us to say that pulsatile perfusion is less effective in structural changes and adhesions of blood cells. This way of interpretation puts forward that open heart surgery with pulsatile perfusion contributes to blood compatibility more than that of nonpulsatile group in terms of leucocyte cells.

### 3.2.1.3. Haemoglobin

The average haemoglobin amounts obtained from fibers are shown for each type of operation in Figure 12a and 12b. The haemoglobin amounts in solutions can be seen in Figures. The haemoglobin amount of nonpulsatile group and pulsatile group in solution No. 1 are very close (0.1 g/dl, 0.093 g/dl, respectively). The haemoglobin amount of nonpulsatile group and pulsatile group in solution No. 2 are very close (0.018 g/dl, 0.015g/dl, respectively). It can be said that the flow type of blood has no effect on blood compatibility in terms of haemoglobin amounts.

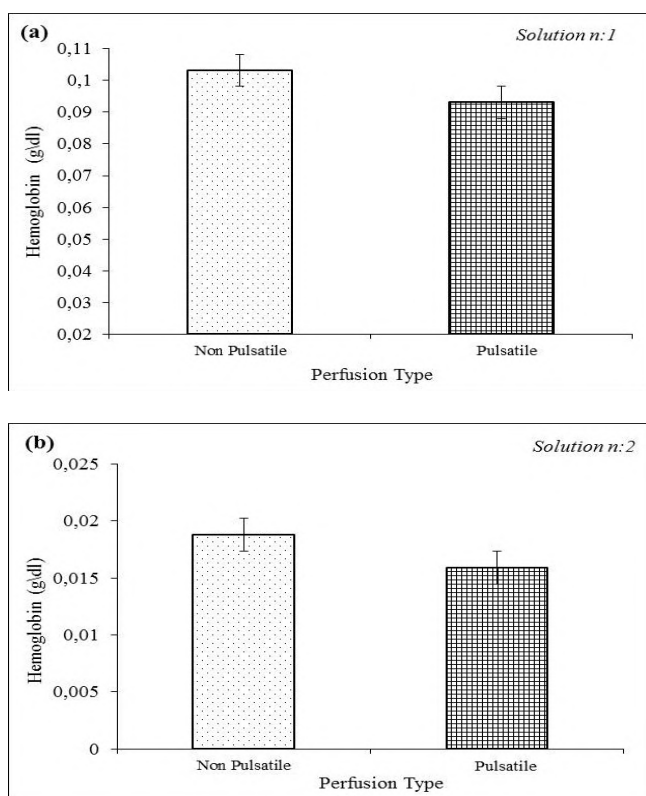


Figure 12. Average Haemoglobin amounts from fibers. a) From solution No.1; b) From solution No.2.

### 3.2.1.4. Hematocrit

The average hematocrit amounts obtained from fibers are shown for each type of operation in Figure 13. The hematocrit amounts in fiber solutions can be seen in Figure 13a and 13b.

The average hematocrit amount of nonpulsatile and pulsatile groups are 0.233% and 0.184%, respectively in solution No.1 while the amounts of nonpulsatile and pulsatile groups in solution No. 2 are 0.039% and 0.029%, respectively.

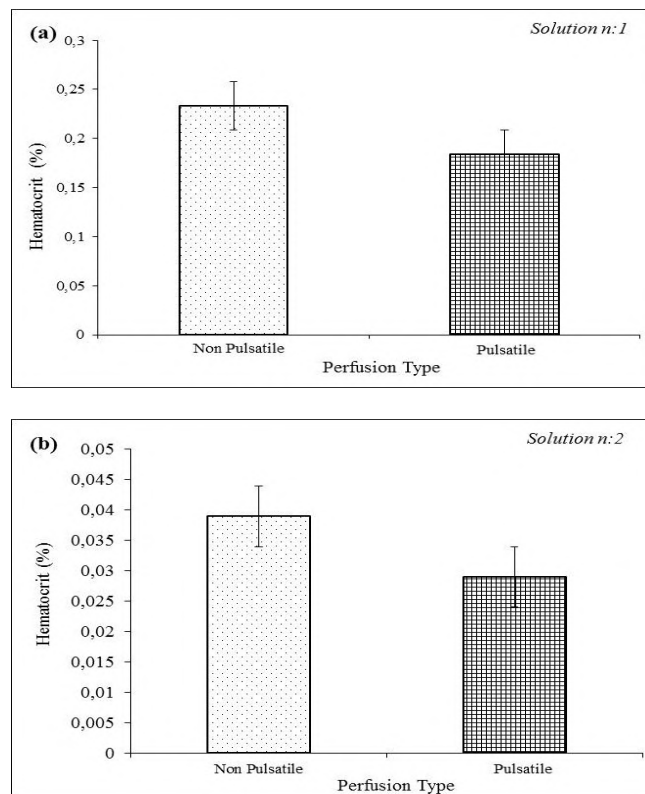
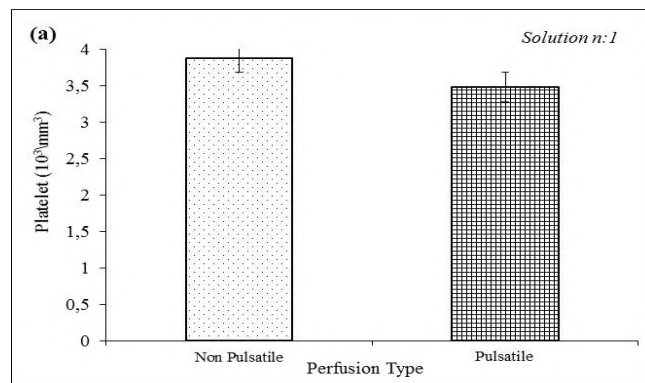


Figure 13. Average hematocrit % values from fibers. a) From solution No.1; b) From solution No.2

### 3.2.1.5. Platelet

The average platelet amounts obtained from fibers are shown for each type of operation in Figure 14a and 14b. The average platelet amounts of nonpulsatile group and pulsatile groups are calculated as 3840 cell/mm<sup>3</sup> and 3470 cell/mm<sup>3</sup>, respectively in solution No. 1 while the values of nonpulsatile and pulsatile groups are 330 cell/mm<sup>3</sup> and 310 cell/mm<sup>3</sup>, respectively in solution No. 2.



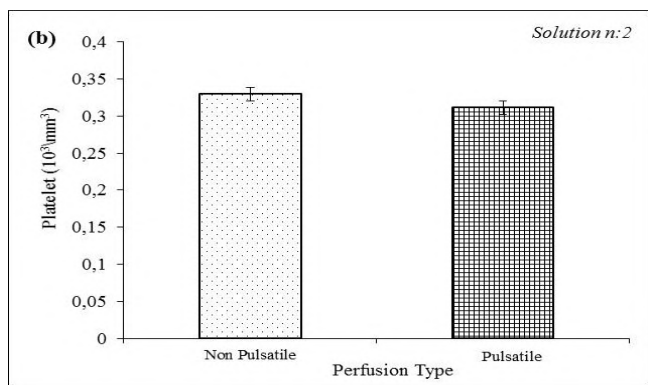


Figure 14. Average Platelet amounts from fibers.  
a) From solution No.1; b) From solution No.2.

### 3.2.2. Results of Blood Proteins

#### 3.2.2.1. Total Protein

Tanaka M. and his colleagues (Tanaka et. al., 2000) reported in 2000 that the adhesion of plasma proteins to oxygenator and fiber surface is another problem of extracorporeal circulation. Along with proteins adhered to fibers in the first obtained solution, there are blood proteins mixed with solution as well. As seen in Figure 15a, the total amount of protein of nonpulsatile and pulsatile groups are 75 mg/dl and 79 mg/dl, respectively. The total amounts of protein of both groups of perfusion are close in the first solutions. As seen in Figure 15b, the amounts of protein adhered to fibers are 12,4 mg/dl in nonpulsatile group and 9 mg/dl in pulsatile one in solution No. 2 following the sonication process. The difference in value is 3.4 mg/dl.

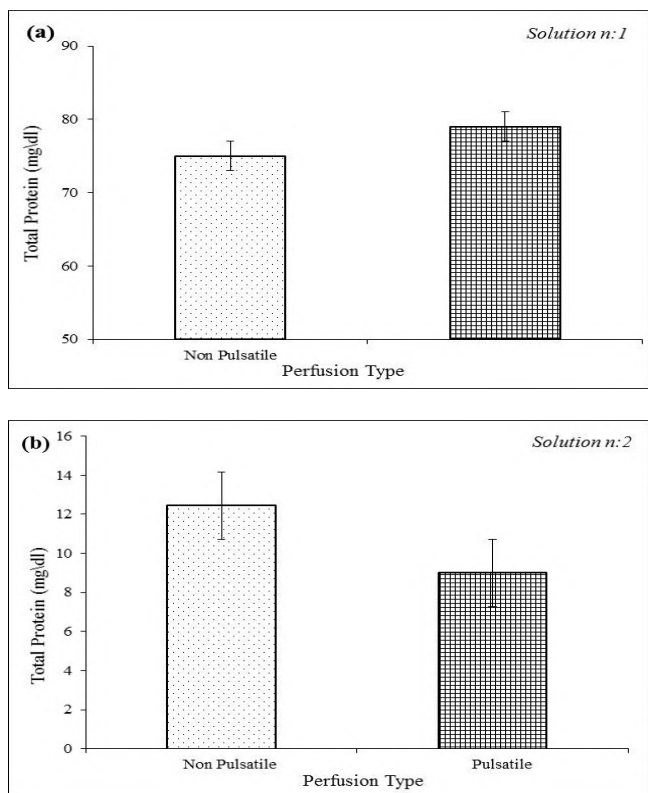


Figure 15. Average of Total Protein amounts of fibers.  
a) From Solution No. 1; b) From Solution No. 2.

The prevention of adhesion of proteins to surface depends on whether oxygenator is coated or not rather than the type of

perfusion. The studies show that the oxygenator's being coated with heparin, PMEA (Poli 2-metoksiethyl acrylate) or albumin is an important phenomenon in the blood cells' disintegration or adhesion of plasma proteins to surface Kocakulak et. al. 2005; Yan Chan et. al., 2007). According to the results, the pediatric pulsatile perfusion has no negative effect on the disintegration of formed blood elements and adhesion of plasma proteins to surface. It is not to makesuch a comment since albumin and fibrinogen at microlevels are not detectable in fiber sonicated solutions. This case indicates hoy effective blood flow rate is in the adhesion and disintegration of blood components (Kameneva et. al. 2004; Lotte., et. al., 2018) because even in literature studies with coated oxygenators realized among adults, albumin and fibrinogen were not detected at microlevel in fiber solutions exposed to sonication (Kocakulak et. al. 2002). It is known that pulsatile flow causes low vascularly resistance especially among children, low lactic acid production and a better healing of organs Yasui et. al., Wickramasinghe et. al., Tamagava et. al., 1996; Feng et. al., 2011). The reason why the values of blood cells and blood proteins are better in the group in which pulsatile flow is used is that pulsative perfusion provides a better microcirculation and enables blood cells and/or proteins to join the circulation more. Just as Wright M. and his colleagues did in 1994, M. Kocakulak and his friends reported in 2005 that pulsatile perfusion provided a better microcirculation and this enabled the blood cells and proteins to join the circulation more Kocakulak et. al. 2005; Wright G. 1994; Xiaowei et. al. 2011).

## 4. Conclusions and Recommendations

This study which aims a research on the effects of pulsatile and nonpulsatile perfusion on patients and oxygenator fibers puts forward the results as follows; As a result of the measurements of blood obtained from different phases of open heart surgeries, there appears no meaningful distinction between pulsatile and nonpulsatile perfusion when the results of blood cells such as erythrocyte, leucocyte, platelet, haemoglobin and hematocrit are compared. Pulsatile perfusion has no negative effect on the results of tests of patients. Pulsatile flow with its high energy makes it easier for blood cells to join the circulation. Pulsatile perfused patients have a higher erythrocyte and leucocyte increase even if this increase is not found statistically meaningful. Pulsatile perfusion keeps microcirculation open and enables more blood cells to join the circulation. When total protein, albumin and fibrinogen measurements are compared during the examination of blood proteins of patients, it can be seen that the protein amounts are preserved in each group and pulsatile perfusion has no negative effect on the adhesion of blood cells. The solutions obtained after sonication are the amounts of cells adhered to fiber surface. When the results are checked, it is understood that less erythrocyte and leucocyte cells adhere to fiber surfaces in pulsatile perfusion. There occurs more adhesion of blood cells in nonpulsatile perfusion. When the total adhered blood protein amounts of the two groups are compared, the adhesion is less in pulsatile group. The high energy and changeable structure of pulsatile perfusion have a positive effect on oxygenator fibers. The low flow amount in pediatric cardiopulmonary bypass is considered to lead to less turbulent flow, less shear stress and less blood trauma. When all results are checked, the biocompatibility response of pulsatile perfusion is better. Pulsatile perfusion can be securely benefited in pediatric cardiopulmonary bypass.

## References

- Andrade JD, Hlady V., (1987) Plasma protein adsorption: the big twelve. *Ann N Y Acad Sci.*; 516:158-72.
- Baier RE, Dutton RC. (1969), Initial events in interactions of blood with a foreign surface, *J Biomed Mater Res*,3, 191-206
- Boldt J, Knothe C, Zickmann B, Bill S, Dapper F, Hempelmann G., (1993) Platelet function in cardiac surgery: influence of temperature and aprotinin. *Ann Thorac Surg*. Mar, 55 (3), :652-8.
- Ciavarella D, Snyder EL. Effects of cardiopulmonary bypass on platelet function (1990), *Dutcher JP ed. Modern transfusion therapy*. BocaRaton, FL: CRC Press, 3–23.
- Driessen J, Dhaese H, Fransen G, Verrelst P, Rondelez L, Gevaert L,(1995) Pulsatile compared with nonpulsatile perfusion using a centrifugal pump for cardiopulmonary bypass during coronary artery bypass grafting. Effects on systemic haemodynamics, oxygenation and inflammatory response parameters, *Perfusion*, 10:3-12.
- Dündar Akif, Frazier OH, Charles D Fraser JR (1999). Defining Pulsatile Perfusion, Quantification in Terms of Energy Equivalent Pressure, *Artificial Organs*,**23 (8)**,712-716
- Feng Qiu, Sameer Khan, Jonathan Talor, Allan Kunselman, Akif Ündar, (2011), Evaluation of two pediatric polymethyl pentene membrane oxygenators with pulsatile and non-pulsatile perfusion, *Perfusion*, 26 (3) 229–237.
- Hyde JAJ, Achinn J, Timothy RG, (1998). Platelets and Cardiopulmonary Bypass, *Perfusion*, 13, 389-407
- K. X. Qian, (1994) Pulsatile blood flow from impeller pump: A dream has come true. *Journal of Biomaterials Applications*, 9(2), 158-177.
- K. X. Qian, (1995) Pulsatile centrifugal impeller heart a successful application of engineering to medicine, *Bio-medical Engineering Applications*. Basis Communications, 7(3), 263-275.
- Kameneva Marina, Burgreen G, Kono K, Repko B, Antaki F, Umezumi M (2004). *ASAIO Journal*, 50, 418-423
- Kirklin J, Westaby S, Blackstone E, (1983), Complement and the damaging effects of cardiopulmonary bypass, *J Thorac Cardiovasc Surg* **86**:245
- Kocakulak M, Askin G, Küçükaksu S, Tarcan O, Piskin E., (2005). Pulsatile Flow Improves Renal Function in High Risk Cardiac Operations, *Blood Purification* **23**: 263-267.
- Kocakulak, M., Koçum, C., Saber, R., Ayhan, H., Günaydın, S., Sarı, T., Zorlutuna, Y., Bingöl, N., (2002) Investigation of Blood Compatibility of PMEA Coated Extracorporeal Circuits, *Journal of Bioactive and Compatible Polymers*, 17, 343-355,
- Lotte Schraven, Andreas Kaesler, Christian Flege, Rüdiger Kopp, Thomas Schmitz-Rode, Ulrich Steinseifer, Jutta Arens, (2018), Effects of Pulsatile Blood Flow on Oxygenator Performance *Artificial Organ*, 42(4):410–419.
- Martin R, McKenty S, Thisdale Y, Lavallee P, Teijeira J, Bonneau D, Tetrault JP., (1989), Hemolysis during cardiopulmonary bypass. *J Cardiothorac Anesth*. Dec;3(6):737-40.
- Niewiarowski S, Holt JC (1987). Biochemistry and Physiology of Secreted Platelet Proteins, *Philadelphia: JB Lippincott*, 618-630.
- Quiroga MM, Miyagishima R, Haendschen LC, Glovsky M, Martin BA, Hogg JC. (1985 Jul), The effect of body temperature on leukocyte kinetics during cardiopulmonary bypass. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 90(1) 91-6.
- Schmidt PJ, Peden JC, Brecher G, Baranovski A. (1961) Thrombocytopenia and bleeding tendency after extracorporeal circulation. *J Med*; 265: 1181–85.
- Segers PAM, Heida JF, de Vries I, Maas C, Boogart A.J., Eialander S. (2001). *NeSeCC Journal*,**26**, 10-16.
- Song Z, Wang C, Stammers AH. (1997) Clinical comparison of pulsatile and non-pulsatile perfusion during cardiopulmonary bypass. *J Extra-Corporeal Tech*, 29:170-75.
- Tamagawa M, Akamatsu T, Saitoh K, (1996), Prediction of hemolysis in turbulent shear orifice flow, *Artif Organs* 20, 553-559.
- Tanaka M, Motomura T, Kawada M, Anzai T, Kasori Y, Shiroya T, Shimura K, Onishi M, Mochizuki A. (2000 Jul), Blood compatible aspects of poly(2-methoxyethylacrylate) (PMEA)--relationship between protein adsorption and platelet adhesion on PMEA surface. *Biomaterials.*; 21(14):1471-81.
- Taylor KM. (1981). Pulsatile cardiopulmonary bypass: A review. *J Cardiovasc Surg*; 22, 561-8.
- Vroman L, Adams AL, (1969). Identification of rapid changes at plasma-solid surfaces, *J Biomed Mater Res* 1969,3, 43-67
- Wickramasinghe SR, Garcia J.D., Binbing Han (2002). Mass and Momentum Transfer in Hollow Fiber Blood Oxygenator, *Journal of Membrane Science*, 208, 247-256
- Wimmer-Greinecker Gerhard, Georg Matheis, Sven Martens, Gerhard Oremek, Ulf Abdel-Rahmana, Anton Moritz, (1999) *European Journal of Cardio-thoracic Surgery* 16 211-217
- Wright G. (1986) Blood cell trauma. In: Taylor KM, eds. *Cardiopulmonary Bypass: Principles and management*. London: *Chapman and Hall*; p. 249-76.
- Wright G. (1994), Hemodynamic analysis could resolve the pulsatile blood flow controversy. *Ann Thorac Surg*. 58: 1199-1204
- Wright G. (1995). The assessment of pulsatile blood flow. *Perfusion*, 10: 135-140
- Xiaowei W. Su, Yulong Guan, Mollie Barnes, J. Brian Clark, John L. Myers, And Akif Undar, (2011), Improved Cerebral Oxygen Saturation and Blood Flow Pulsatility With Pulsatile Perfusion During Pediatric Cardiopulmonary Bypass, *Pediatric Research*, Vol. 70, No. 2.
- Yan Chan, Hideki Fujioka, Ronald B. Hirshl, Robert H. Bartlett, James B. Grotberg, (2007), Pulsatile Blood Flow and Gas Exchange Across a Cylindrical Fiber Array Kit, *J Biomech Eng.*, 129 (5): 676-687.
- Yasui H, Yonenaga K., Kado H., Ando H., Mizoguchi Y, Honda S., (1989). Open heart surgery in infants using pulsatile high flow cardiopulmonary bypass, *J Cardiovasc Surg.*,30, 661-668.



# Investigation of Ferrochromium Wastes for their Hazardous Hexavalent Chromium Content

İlker Acar<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> Atatürk University, Faculty of Engineering, Department of Environmental Engineering, Erzurum, Turkey, (ORCID: 0000-0001-9439-1580), [ilker.acar@atauni.edu.tr](mailto:ilker.acar@atauni.edu.tr)

(First received 15 June 2021 and in final form 21 August 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.952386)

**ATIF/REFERENCE:** Acar, İ. (2021). Investigation of Ferrochromium Wastes for their Hazardous Hexavalent Chromium Content. *European Journal of Science and Technology*, (27), 204-209.

## Abstract

In this study, ferrochromium slag (FS) and electric-arc furnace dust (EAFD) samples were examined for their hazardous hexavalent chromium content mainly by X-ray photoelectron spectroscopy (XPS) analysis. According to the experimental results, magnesium-silicate constitutes the main framework of both FS and EAFD samples. Highly crystalline FS contains 3.11%Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> as spinel phases while this constituent is much higher, 15.44%, in EAFD. The general XPS spectra show that both samples mainly consist of O, Mg and Si elements. In addition, FS also includes aluminum while carbon, calcium and potassium are the other major elements for EAFD. The peaks appeared in the range of 577-589 eV confirm chromium content of the samples. Besides, the peaks appeared at 1022 and 1045 eV point out zinc content of EAFD. Based on the XPS atomic ratio, Cr contents of FS and EAFD were obtained as 0.505 and 0.987%, respectively while EAFD further contains 2.594% Zn. The detailed XPS analysis indicates that chromium exists as two oxidation states, trivalent and hexavalent forms at 2p orbitals. Specifically, for 2p<sub>3/2</sub> orbitals, trivalent and hexavalent chromium were assigned at 577.1 and 579.2 eV, respectively whereas 586.9 and 588.9 eV for 2p<sub>1/2</sub> orbitals. Furthermore, the corresponding intensities of these peaks are much higher for EAFD. By comparing the peak intensities, the relative proportions of Cr (VI) were calculated as 49.44 and 49.53% for FS and EAFD, respectively. The leaching tests show that solubilities of all the metals examined except Cr are far below the toxicity limits for hazardous waste and even below the ranges of non-hazardous waste. Specifically, chromium contents of the filtrates were determined as 0.862 and 268.050 mg/l for FS and EAFD, respectively. Considering the toxicity limits of chromium, EAFD can be surely labeled as a highly hazardous waste whereas, on the other hand, FS is within the limits of non-hazardous waste. In conclusion, it can be said that the hazardous hexavalent chromium content must be reduced to immobile trivalent forms for the dust sample prior to be disposed in landfills.

**Keywords:** Hexavalent chromium, Ferrochromium slag, Electric-arc furnace dust, Hazardous waste, XPS.

## Ferrokrom Atıklarının Tehlikeli Altı Değerlikli Krom İçeriği Açısından İncelenmesi

### Öz

Bu çalışmada, ferrokrom cürufu (FS) ve elektrik-ark fırını tozu (EAFD) numuneleri esas olarak X-ışını fotoelektron spektroskopisi (XPS) analizi ile tehlikeli altı değerlikli krom içerikleri açısından incelenmiştir. Deneysel sonuçlara göre, magnezyum-silikat, hem FS hem de EAFD numunelerinin ana çerçevesini oluşturmaktadır. Yüksek kristalli FS, spinel fazlar olarak %3,11 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içerirken, bu bileşen EAFD içerisinde çok daha yüksektir (%15,44). Genel XPS spektrumları, her iki numunenin de esas olarak O, Mg ve Si elementlerinden oluştuğunu göstermektedir. Ek olarak, FS ayrıca alüminyum içerirken, karbon, kalsiyum ve potasyum EAFD için diğer ana elementlerdir. 577-589 eV aralığında görünen pikler, numunelerin krom içeriğini doğrulamaktadır. Ayrıca, 1022 ve 1045 eV'de ortaya çıkan pikler, EAFD'nin çinko içeriğine işaret etmektedir. XPS atom oranına göre, FS ve EAFD'nin Cr içerikleri sırasıyla %0,505 ve %0,987 olarak elde edilirken, EAFD ayrıca %2,594 Zn içerir. Ayrıntılı XPS analizi, kromun 2p orbitallerinde üç değerlikli ve altı değerlikli formlar olmak üzere iki oksidasyon durumunda bulunduğunu göstermektedir. Spesifik olarak, 2p<sub>3/2</sub> orbitalleri için üç değerlikli ve altı değerlikli krom sırasıyla 577,1 ve 579,2 eV'de, 2p<sub>1/2</sub> orbitalleri için ise 586,9 ve 588,9 eV'de belirlenmiştir. Ayrıca, bu piklerin karşılık gelen şiddetleri EAFD için çok daha yüksektir. Pik şiddetleri karşılaştırılarak, Cr (VI) nispi oranları FS ve EAFD için sırasıyla %49,44 ve %49,53 olarak hesaplanmıştır. Liç testleri, Cr hariç incelenen tüm metallerin çözünürlüklerinin, tehlikeli atık toksisite sınırlarının çok altında ve hatta tehlikeli olmayan atık aralıklarının dahi altında olduğunu göstermektedir. Spesifik olarak, filtratların krom içerikleri FS ve EAFD için sırasıyla 0,862 ve 268,050 mg/l olarak belirlenmiştir. Kromun toksisite limitleri göz önüne alındığında, EAFD kesinlikle çok tehlikeli bir atık olarak etiketlenebilirken, FS ise tehlikesiz atık sınırları içindedir. Sonuç olarak,

\* Corresponding Author: [ilker.acar@atauni.edu.tr](mailto:ilker.acar@atauni.edu.tr)

özellikle toz numunesi için, tehlikeli altı değerlikli krom içeriğinin düzenli depolama sahalarına atılmadan önce durağan üç değerlikli formlara indirilmesi gerektiği söylenebilir.

**Anahtar Kelimeler:** Altı değerlikli krom, Ferrokrom cürufu, Elektrik-ark fırını tozu, Tehlikeli atık, XPS.

## 1. Introduction

Ferromercury consisting mainly of chromium, iron and carbon is one of the most widely used alloy for the manufacturing of stainless steel. The two by-products resulted from the ferrochrome production are ferrochromium slag (FS) and electric-arc furnace dust (EAFD) (Aigbe and Osibote, 2020; Bulut et al., 2009; Erdem et al., 2005; Jena and Panigrahi, 2021).

The main bulk waste, FS is generated from the successive carbothermal process in electric-arc furnaces and mostly forms as a dense rock with high degree of crystallinity due to the slow cooling in the air (Gencel et al., 2013; Sekhar Biswal et al., 2021). Depending on the mineralogy and chemistry of feed materials, approximately 1.1-1.6 tons FS is resulted for a ton of ferrochrome produced. Accordingly, the annual production of FS is estimated around 12.5 million tons with the increasing rate of 2.8-3.0% by weight in every year (Nath, 2018). A small percentage of this finds applications in construction industry as mostly aggregate but the vast majority is held in dumps (Bulut et al., 2009; Gencel et al., 2013; Nath, 2018). However, this can be regarded as environmentally undesirable approach due to its high levels toxic elements (Bulut et al., 2009; Sohel et al., 2021; Panda et al., 2013).

EAFD, on the other hand, is generated by the subsequent volatilization, oxidation and solidification of metals such as Zn, Pb, Cd, Ni, and Cr in the form of a dust (Arnold et al., 2017). In contrast to FS, only 10-20 kg EAFD is resulted per a ton of ferrochrome produced. Approximately 30% of EAFD finds application as source materials for the recovery of metals, while the remaining 70% is disposed in landfills (Arnold et al., 2017; Bulut et al., 2009; Cholake et al., 2018). EAFD also contains high levels of extractable toxic elements such as Cr, Zn, Pb, Ni and Cd, and has been categorized as hazardous waste due to its chemical, physical and leachability properties. Accordingly, its disposing in landfills without any pre-treatments such as detoxification and immobilization processes is strongly prohibited by a wide range of countries (Bulut et al., 2009; Fernández Pereira et al., 2009; Shahid et al., 2017).

One of the most hazardous elements present in both FS and EAFD is chromium, particularly its hexavalent state. Despite its several oxidation states, the two most common and stable forms are hexavalent and trivalent chromium. Unlike trivalent chromite, hexavalent chromate has a potential health hazard mainly due to its high mobility, extreme toxicity and carcinogenic property. Therefore, the main detoxification mechanism is based on the reduction of hazardous hexavalent chromate to its immobile trivalent chromite form (Bulut et al., 2009; Chagas et al., 2019; Dhal et al., 2013; Fares et al., 2021; Fernández Pereira et al., 2009; Panda et al., 2013; Shahid et al., 2017).

In this study, a slag and an electric-arc furnace dust resulted from a ferrochrome production process were examined for their hexavalent chromium content mainly by X-ray photoelectron spectroscopy (XPS) analysis.

## 2. Material and Method

### 2.1. Materials

The ferrochrome slag (FS) and electric-arc furnace dust (EAFD) samples used were resulted from the ferrochrome production plant of ETI KROM INC. located in Kovancilar, Elazığ, Turkey. In this plant, after the removal of ferrochromium metal from the slag in liquid state, the molten slag is slowly cooled

in air. This results in a highly crystalline irregularly-shaped lumpy material with approximately 4-5 cm in size (Erdogan, 2011; Gencel et al., 2013; Nath, 2018). Therefore, prior to the instrumental analyses, FS sample was crushed and ground to particle size finer than 100  $\mu\text{m}$ .

### 2.2. Methods

#### 2.2.1. Characterization of the Materials

The main oxide composition was determined by a Spectro IQ X-ray fluorescence analyzer. The particle size distribution of EAFD was measured with wet-sieving analysis using Tyler sieve series from 425  $\mu\text{m}$  down to 38  $\mu\text{m}$ . The major crystalline inclusions of the samples were examined by a PANalytical Empyrean X-ray diffractometer (XRD) operating with Cu-K $\alpha$  radiation ( $\lambda=1.54060 \text{ \AA}$ ) at 40 kV and 40 mA over 10-70°. Thermogravimetric analyses were carried out with a TGA 1500 instrument in nitrogen atmosphere.

#### 2.2.2. XPS Analysis

XPS analysis can be considered as an accurate method used to determine oxidation state of transition metals (Greunz et al., 2018). Therefore, in this study, XPS analysis was conducted by a Specs-Flex instrument for the determination of hexavalent chromium contents of FS and EAFD samples. General survey spectra were recorded for the binding energy of 0-1387 eV at 100 eV pass energy while narrow range spectra for chromium element were acquired in the range of 564-604 eV at the pass energy of 40 eV.

#### 2.2.3. Leaching Test

Leachability characteristics of FS and EAFD samples were examined for eight elements in accordance with TS EN 12457-4 leaching test (Acar and Atalay, 2013). Heavy metal contents of the filtrates were determined by an Agilent 7800 inductively coupled plasma-mass spectroscopy. The regulation of hazardous waste in Turkish standard (Appendix 11-A) was used to evaluate the obtained heavy metal contents for their toxicity limits (Acar and Atalay, 2013).

## 3. Results and Discussion

### 3.1. The Results of Material Characterization

The major oxide compositions of the samples are given in Table 1.

Table 1 The main chemical compositions of FS and EAFD

Constituents (%)	FS	EAFD
MgO	38.31	15.13
SiO <sub>2</sub>	32.56	18.88
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	23.01	3.65
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.11	15.44
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.29	7.37
CaO	1.22	6.26



According to Table 1, MgO, SiO<sub>2</sub> and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> constitute the main chemical composition of FS which also includes 3.11% Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and very low amounts of Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and CaO contents. Similar chemical compositions with varying Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> contents were also reported in the literature (Erdoğan, 2011; Gencil et al., 2013; Jena and Panigrahi, 2021). On the other hand, EAFD contains much higher Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> content, 15.44%, and lower SiO<sub>2</sub>, MgO and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> contents with respect to FS, all of which are correlated with the literature investigations (Bulut et al., 2009; Kumar B et al., 2020; Mishra et al., 2020).

The particle size distribution of EAFD sample is given in Figure 1. As seen in Figure 1, almost all of the particles pass through 425 μm while 80% (P<sub>80</sub>) and 50% (P<sub>50</sub>) cumulative passing sizes by weight were determined to be approximately 143 μm and 79 μm, respectively. Similar particle size distribution was also reported in the literature (Bulut et al., 2009).

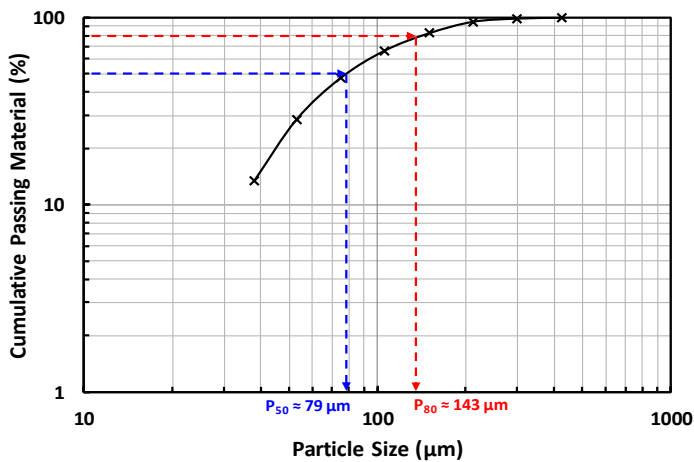


Figure 1 The particle size distribution of EAFD

The XRD pattern of FS and EAFD samples are illustrated in Figure 2. As seen in Figure 2-(a), FS sample mainly consists of magnesium-silicate and magnesium-aluminate minerals. In addition, it exhibits high crystallinity probably due to the slow air cooling. Specifically, forsterite ((Mg,Fe)<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>), Fe-Mg-Cr-Al-spinels (MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) and enstatite (MgSiO<sub>3</sub>) phases were determined from the XRD analysis. The results obtained are well correlated with the literature studies (Acar, 2020; Erdoğan, 2011; Gencil et al., 2013; Nath, 2018).

On the other hand, Figure 2-(b) indicates that the main crystalline inclusions of EAFD were determined as forsterite (Mg<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>) and cristobalite low (SiO<sub>2</sub>), and also includes magnesium dichromium oxide (Cr<sub>2</sub>MgO<sub>4</sub>), calcium silicide (CaSi), magnesium silicide (Mg<sub>2</sub>Si), fayalite (Fe<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>) and stishovite (SiO<sub>2</sub>). Parallel crystalline phases were also reported in the literature (Mishra et al., 2020).

According to the thermogravimetric analyses conducted, FS exhibited almost no weight reduction, only 0.065% up to the highest temperature tested (Gencil et al., 2013). On the other hand, EAFD showed 8.22% weight reduction probably due to its unburn coke inclusion. High loss on ignition of electric-arc furnace dust was also reported in the literature (Fernández Pereira et al., 2009).

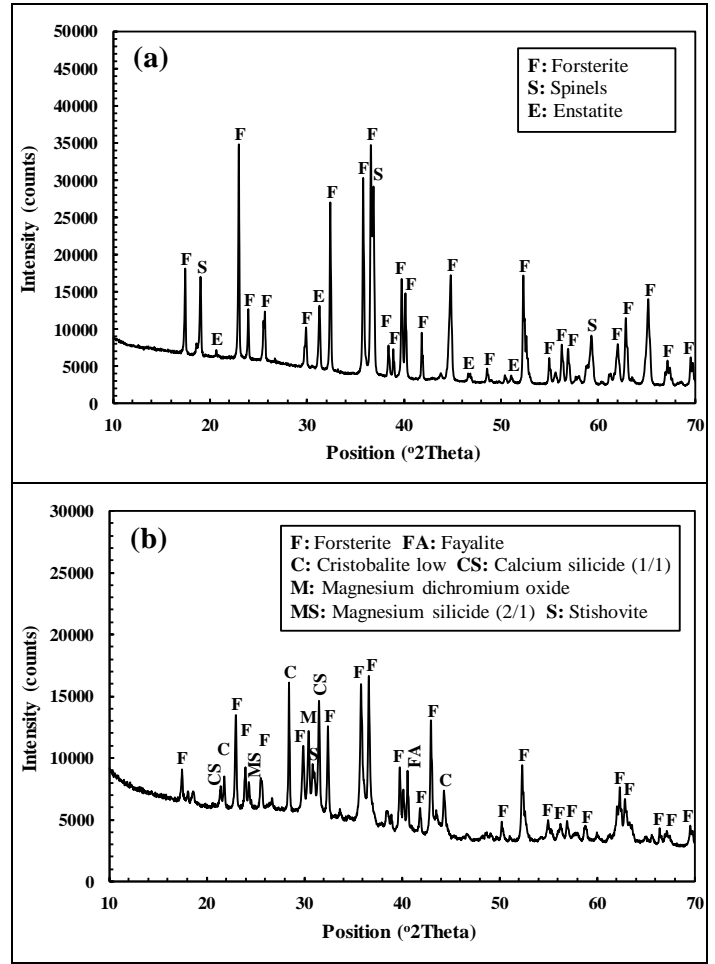


Figure 2 Mineralogical compositions of FS (a) and EAFD (b)

### 3.2. The Results of XPS Measurements

Figure 3 displays the general XPS spectra of FS and EAFD samples. As seen in Figure 3-(a), the peaks of O, Mg, Si, Al and Ca elements were mainly determined for FS. In addition, low intensity peaks appeared at 575 and 588 eV confirm chromium inclusion of FS sample.

Similarly, the peaks of O, Mg, Si and Ca elements except Al can be clearly seen for EAFD in Figure 3-(b). Different to FS, the general XPS spectra of EAFD also includes the peaks of K, Na, Cl and S elements probably resulted from burning of coke. Moreover, higher intensity peaks at 577 and 588 eV with respect to FS confirm the higher chromium content of EAFD sample. In addition to chromium, another heavy metal element, zinc was also determined from the peaks appeared at 1022 and 1045 eV.

XPS atomic ratios of FS and EAFD samples are given in Tables 2 and 3, respectively. According to Table 2, consistent with the XRF results, O, Mg, Si and Al constitute the main elemental composition of FS sample. Inconsistent Ca and C contents with regard to the XRF and TGA results can be attributed to the peak overlaps among Ca, C and Mg.

Table 3 indicates that the major elements detected for EAFD sample are O, Mg, Si, C, Ca and K. In addition, EAFD also has a high Zn content, 2.594%, and about two times higher Cr content, 0.987%, with respect to FS sample.

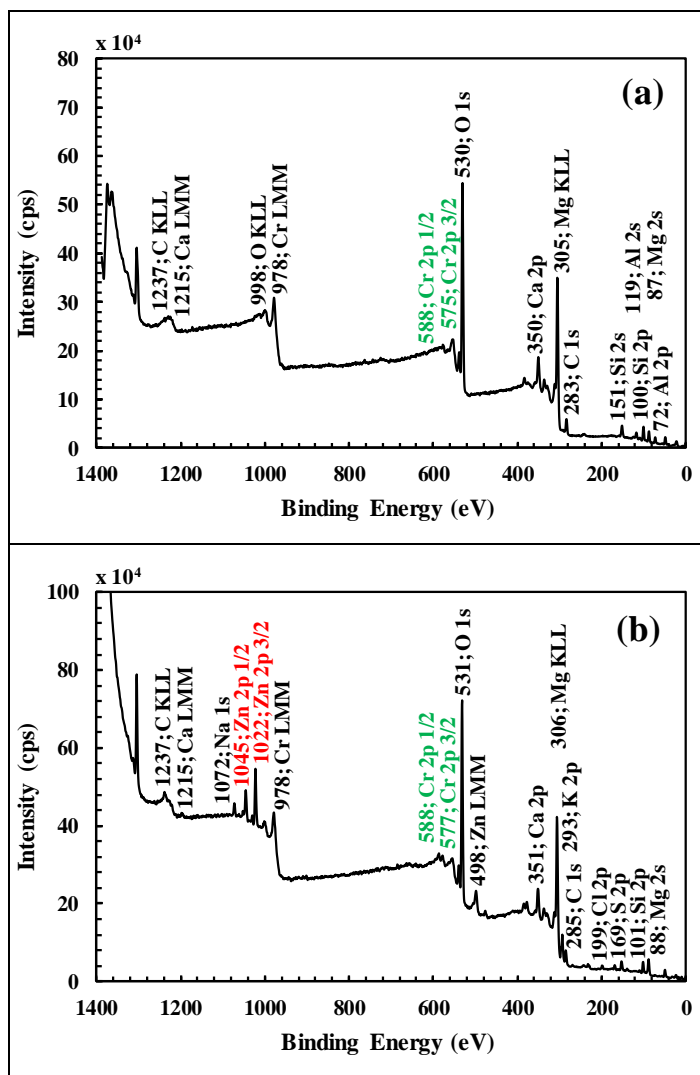


Figure 3 General XPS spectra of FS (a) and EAFD (b)

Table 2 XPS atomic ratio of FS

Elements	Orbitals	Positions (eV)	Atomic ratio (%)
O	1s	530	56.200
Mg	2s	87	10.888
Si	2p	100	9.212
Al	2p	72	5.595
Ca	2p	350	7.321
Cr	2p 3/2	575	0.505
C	1s	283	10.142

Figure 4 illustrates the detailed narrow range spectra of FS and EAFD for chromium. As seen in Figure 4, two oxidation states, trivalent and hexavalent chromium were determined at 2p<sub>3/2</sub> and 2p<sub>1/2</sub> orbitals. According to the literature investigations, for Cr 2p<sub>3/2</sub> orbitals, trivalent chromium forms of Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and CrCl<sub>3</sub> are characterized with the peaks appeared at 576.2-576.5 and 577.2 eV, respectively. On the other hand, hexavalent chromium forms of CrO<sub>3</sub> and K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> correspond to higher binding energies, 578.1 and 579.2 eV, respectively. For Cr 2p<sub>1/2</sub> orbitals, trivalent and hexavalent chromium forms are sequentially

attributed to the binding energy ranges of 586.66-586.98 and 588.77-589.68 eV (Greunz et al., 2018; Murphy et al., 2009).

Table 3 XPS atomic ratio of EAFD

Elements	Orbitals	Positions (eV)	Atomic ratio (%)
O	1s	531	49.953
Mg	2s	88	17.115
Si	2p	101	7.236
S	2p	169	1.624
Cl	2p	199	1.015
Ca	2p	351	5.965
Na	1s	1072	1.369
K	2p	293	4.276
Cr	2p 3/2	577	0.987
Zn	2p 3/2	1022	2.594
C	1s	285	7.865

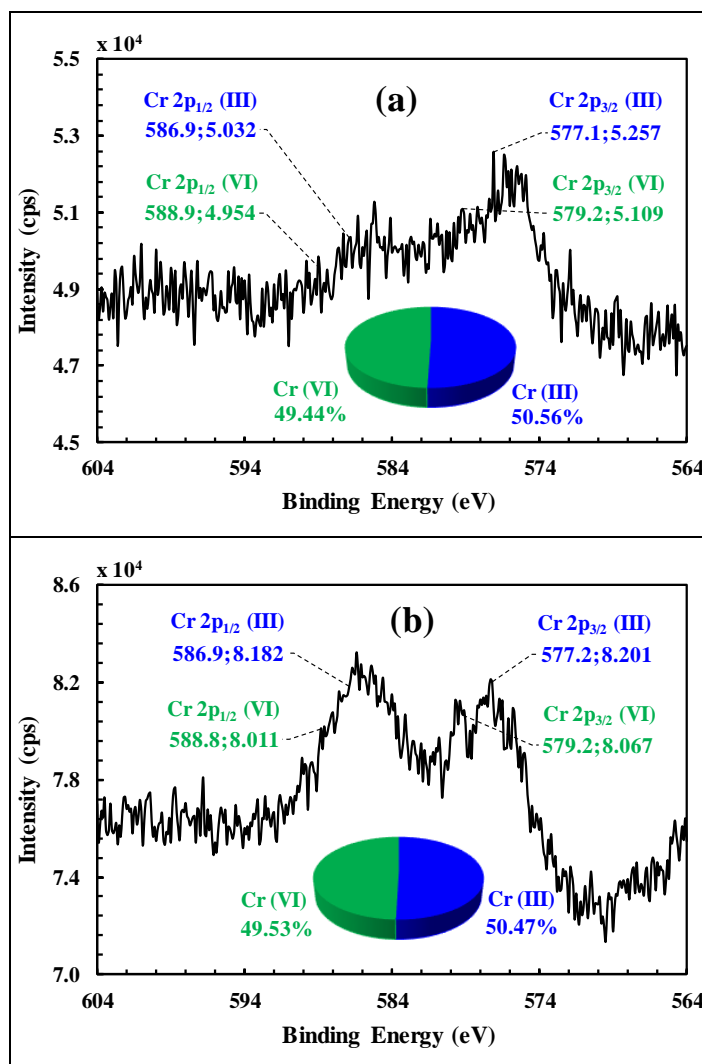


Figure 4 Narrow range XPS analysis of FS (a) and EAFD (b)

As seen in Figure 4-(a), for FS, consistent with the literature studies, trivalent chromium was assigned at 577.1 eV with the peak intensity of 5.257x10<sup>4</sup> cps while hexavalent form corresponded to 579.2 eV with 5.109x10<sup>4</sup> cps for 2p<sub>3/2</sub> orbitals. On the other hand, lower intensity peaks were obtained for 2p<sub>1/2</sub>

orbitals. Specifically, trivalent and hexavalent oxidation states were sequentially determined at 586.9 and 588.9 eV with the respective intensities of  $5.032 \times 10^4$  and  $4.954 \times 10^4$  cps. By comparing the intensities of the peaks examined, the relative proportions of Cr (III) and Cr (VI) for FS were calculated as 50.56 and 49.44%, respectively.

According to Figure 4-(b), almost the same binding energies with respect to FS were determined for EAFD sample. However, in this case, much higher peak intensities were observed for the corresponding orbitals and oxidation states. Specifically, for  $2p_{3/2}$  orbitals, trivalent and hexavalent forms were assigned with  $8.201 \times 10^4$  and  $8.067 \times 10^4$  cps, respectively. For  $2p_{1/2}$  orbitals, the intensity values of  $8.182 \times 10^4$  and  $8.011 \times 10^4$  cps were obtained for the respective trivalent and hexavalent chromium. Accordingly, the relative proportions of Cr (III) and Cr (VI) for EAFD were calculated as 50.47 and 49.53%, respectively. In other words, almost half of the total chromium content for both FS and EAFD are present as hazardous hexavalent forms.

### 3.3. The Results of Leaching Tests

The leachability characteristics of eight heavy metals from FS and EAFD are given in Table 4.

Table 4 Leachability characteristics of heavy metals

Element	Solubility (mg/l)		Toxicity limits (mg/l) (Appendix 11-A) (Acar and Atalay, 2013)		
	FS	EAFD	IW <sup>a</sup>	NHW <sup>b</sup>	HW <sup>c</sup>
Cd	0.00003	0.00023	≤ 0.004	0.004-0.1	< 0.1-0.5
Co	0.00072	0.00005	NI <sup>d</sup>	NI <sup>d</sup>	NI <sup>d</sup>
Cr	<b>0.862</b>	<b>268.050</b>	≤ 0.05	<b>0.05-1</b>	< 1-7
Cu	0.0025	0.0037	≤ 0.2	0.2-5	< 5-10
Ni	0.0154	0.00076	≤ 0.04	0.04-1	< 1-4
Pb	0.00090	0.0056	≤ 0.05	0.05-1	< 1-5
Zn	0.0191	0.162	≤ 0.4	0.4-5	< 5-20
Mn	0.028	0.0021	NI <sup>d</sup>	NI <sup>d</sup>	NI <sup>d</sup>

<sup>a</sup> Inert waste.

<sup>b</sup> Non-hazardous waste.

<sup>c</sup> Hazardous waste.

<sup>d</sup> Not included.

According to Table 4, both FS and EAFD are far from being considered as hazardous waste in terms of the leaching capacities of all the metals examined except Cr. In addition, their solubilities are even below the toxicity limits for non-hazardous waste. In particular, solubilities of chromium were determined as 0.862 and 268.050 mg/l for FS and EAFD, respectively. In other words, chromium solubility of EAFD is more than 300 times higher than that of FS based on the TS EN 12457-4 leaching test. This result cannot be explained by only the chromium contents of FS and EAFD, which are 3.11 and 15.44%, respectively. In fact, it can be attributed to the spinel phase of FS where most of the chromium is immobilized. This results in a slight chromium release from FS (Panda et al., 2013). On the other hand, chromium is easily leached from the weakly crystalline magnesium dichromium oxide phase of EAFD. Therefore, EAFD can be regarded as a highly hazardous

waste while FS is within the limit of non-hazardous waste according to the toxicity limits (Bulut et al., 2009; Fernández Pereira et al., 2009; Panda et al., 2013).

## 4. Conclusions and Recommendations

Overall results have shown that although the ferrochromium slag and the electric-arc furnace dust examined have similar Cr(III)/Cr(VI) ratio, mainly weak crystallinity makes the dust sample a highly hazardous waste while the slag sample can be considered as a non-hazardous waste due to its strong chromium bearing spinel phase. Therefore, hazardous hexavalent chromium must be reduced to much less dangerous immobile trivalent forms for the dust sample prior to disposed in landfills.

## 5. Acknowledge

The technical supports by East Anatolia High Technology Application and Research Center (DAYTAM) and ETI KROM INC. are gratefully acknowledged.

## References

- Acar, İ. (2020). Sintering properties of olivine and its utilization potential as a refractory raw material: Mineralogical and microstructural investigations. *Ceramics International*, 46(18, Part A), 28025-28034.
- Acar, I., Atalay, M. U. (2013). Characterization of sintered class F fly ashes. *Fuel*, 106, 195-203.
- Aigbe, U. O., Osibote, O. A. (2020). A review of hexavalent chromium removal from aqueous solutions by sorption technique using nanomaterials. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 8(6), 104503.
- Arnold, M. C., de Vargas, A. S., Bianchini, L. (2017). Study of electric-arc furnace dust (EAFD) in fly ash and rice husk ash-based geopolymers. *Advanced Powder Technology*, 28(9), 2023-2034.
- Bulut, U., Ozverdi, A., Erdem, M. (2009). Leaching behavior of pollutants in ferrochrome arc furnace dust and its stabilization/solidification using ferrous sulphate and Portland cement. *Journal of Hazardous Materials*, 162(2-3), 893-898.
- Chagas, P. M. B., Caetano, A. A., Tireli, A. A., Cesar, P. H. S., Corrêa, A. D., Guimarães, I. D. R. (2019). Use of an Environmental Pollutant From Hexavalent Chromium Removal as a Green Catalyst in The Fenton Process. *Scientific Reports*, 9(1).
- Cholake, S. T., Farzana, R., Numata, T., Sahajwalla, V. (2018). Transforming electric arc furnace waste into value added building products. *Journal of Cleaner Production*, 171, 1128-1139.
- Dhal, B., Thatoi, H. N., Das, N. N., Pandey, B. D. (2013). Chemical and microbial remediation of hexavalent chromium from contaminated soil and mining/metallurgical solid waste: A review. *Journal of Hazardous Materials*, 250-251, 272-291.
- Erdem, M., Altundoğan, H. S., Turan, M. D., Tümen, F. (2005). Hexavalent chromium removal by ferrochromium slag. *Journal of Hazardous Materials*, 126(1-3), 176-182.
- Erdoğan, S. T. (2011). *Öğütülmüş Ferrokrom Cürufu Kullanılarak Jeopolimer Üretimi*. Paper presented at the 9th National Congress on Concrete, İzmir.

- Fares, A. I., Sohel, K., Al-Jabri, K., Al-Mamun, A. (2021). Characteristics of ferrochrome slag aggregate and its uses as a green material in concrete – A review. *Construction and Building Materials*, 294, 123552.
- Fernández Pereira, C., Luna, Y., Querol, X., Antenucci, D., Vale, J. (2009). Waste stabilization/solidification of an electric arc furnace dust using fly ash-based geopolymers. *Fuel*, 88(7), 1185-1193.
- Gencil, O., Sutcu, M., Erdogmus, E., Koc, V., Cay, V. V., Gok, M. S. (2013). Properties of bricks with waste ferrochromium slag and zeolite. *Journal of Cleaner Production*, 59, 111-119.
- Greunz, T., Steinberger, R., Strauß, B., Stifter, D. (2018). Reduction of hexavalent chromium embedded in organic insulation and corrosion inhibition layers during X-ray photoelectron spectroscopy (XPS) measurements. *Corrosion Science*, 143, 39-45.
- Jena, S., Panigrahi, R. (2021). Feasibility study of the properties of geopolymer concrete with ferrochrome slag and silica fume. *Materials Today: Proceedings*, 38, 2476-2480.
- Kumar B, C., Yaragal, S. C., Das, B. B. (2020). Ferrochrome ash – Its usage potential in alkali activated slag mortars. *Journal of Cleaner Production*, 257, 120577.
- Mishra, J., Kumar Das, S., Krishna, R. S., Nanda, B., Kumar Patro, S., Mohammed Mustakim, S. (2020). Synthesis and characterization of a new class of geopolymer binder utilizing ferrochrome ash (FCA) for sustainable industrial waste management. *Materials Today: Proceedings*, 33, 5001-5006.
- Murphy, V., Tofail, S. A. M., Hughes, H., McLoughlin, P. (2009). A novel study of hexavalent chromium detoxification by selected seaweed species using SEM-EDX and XPS analysis. *Chemical Engineering Journal*, 148(2-3), 425-433.
- Nath, S. K. (2018). Geopolymerization behavior of ferrochrome slag and fly ash blends. *Construction and Building Materials*, 181, 487-494.
- Panda, C. R., Mishra, K. K., Panda, K. C., Nayak, B. D., Nayak, B. B. (2013). Environmental and technical assessment of ferrochrome slag as concrete aggregate material. *Construction and Building Materials*, 49, 262-271.
- Sekhar Biswal, S., Panda, C., Sahoo, S., Jena, T., Chandra Panda, K. (2021). Assessment of factors influencing the elution of chromium from ferrochromium slag using factorial design of experiment. *Materials Today: Proceedings*, 35, 97-101.
- Shahid, M., Shamshad, S., Rafiq, M., Khalid, S., Bibi, I., Niazi, N. K., Dumat, C., Rashid, M. I. (2017). Chromium speciation, bioavailability, uptake, toxicity and detoxification in soil-plant system: A review. *Chemosphere*, 178, 513-533.



# The Charming Threat Against the Groundwater Resources: Tamarix Trees Utilized for Landscaping

Muhammed Ernur Akiner<sup>1\*</sup>, Časlav Lačnjevac<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Akdeniz University, Vocational School of Technical Sciences, Department of Environmental Protection Technology, Antalya, Turkey, (ORCID: 0000-0002-5192-2473), [ernurakiner@akdeniz.edu.tr](mailto:ernurakiner@akdeniz.edu.tr)

<sup>2</sup> University of Belgrade, Faculty of Agriculture, Belgrade, Department of Chemistry and Biochemistry, Serbia, (ORCID: 0000-0003-0650-8625), [caslav.lacnjevac@gmail.com](mailto:caslav.lacnjevac@gmail.com)

(First received 20 June 2021 and in final form 22 August 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.954953)

**ATIF/REFERENCE:** Akiner, M. E. & Lačnjevac, Č. (2021). The Charming Threat Against the Groundwater Resources: Tamarix Trees Utilized for Landscaping. *European Journal of Science and Technology*, (27), 210-220.

## Abstract

Datça peninsula has a limited water budget due to its geographical structure. Although many studies have been carried out to protect water resources, no study has been conducted on some specific plant species' excessive water consumption for the Datça region. The study identifies and evaluates the negative impacts of Tamarix spp (Tamaracaceae) across the coastal landscapes of Datça. As an invasive alien species, initially used as a short-term solution to flooding and increasing soil nutrients, Tamarix spp has more adversities than the anticipations held during its introduction. Tamarix plant has compromised several ecosystems hence rendering it an extremely repulsive plant that requires termination. The study utilized literature to garner relevant information regarding the topic and its associates with the ecological systems and the overall environment. The study points out that Tamarix is responsible for water scarcity, species displacement, fire hazards, inhospitality of riparian areas, and altered soil systems. Further, the study argues that control measures have been adopted to terminate and reduce the risks of Tamarix. Overall, this study underlines the requirement of lowering the depletion rate of the underground freshwater source by preventing the excessive water consumption of future threat, Tamarix parviflora trees, which start from the coastal regions and spread to the inner areas of Datça.

**Keywords:** Datça, Negative implications, Species displacement, Tamarix parviflora, Water scarcity.

## Yeraltı Suyu Kaynaklarına Yönelik Tehdit: Peyzaj Amaçlı Kullanılan Ilgın Ağaçları

### Öz

Datça yarımadası coğrafi yapısı nedeniyle sınırlı bir su bütçesine sahiptir. Su kaynaklarının korunmasına yönelik pek çok çalışma yapılmasına rağmen, Datça bölgesi için bazı spesifik bitki türlerinin aşırı su tüketimi ile ilgili herhangi bir çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışma, Ilgın Ağacı türlerinin (Tamaracaceae) Datça kıyı peyzajı üzerindeki olumsuz etkilerini belirlemekte ve değerlendirmektedir. Başlangıçta taşkınlarla karşı ve topraktaki besin maddelerinin artırılması amacıyla kısa vadeli bir çözüm olarak Tamarix spp kullanılmıştır. İstilacı bir yabancı tür olan Ilgın Ağacı, peyzaj için yaygın olarak bilinen faydalarının yanı sıra masum görüntüsünün altında yeraltı suları için tehdittir. Ilgın Ağacı zamanla ekosistemi tehlikeye atmış, bu durum da onu süreç içerisinde bertaraf edilmesi gereken bir tür haline getirmiştir. Bu makalede, ekolojik sistemler ve genel çevre ile ilgili literatür araştırması sonucunda elde edilen bulgular, Ilgın Ağacının Akdeniz Bölgesi'nin cennet köşelerinden biri olan Datça bölgesine verdiği zararlara işaret etmektedir. Araştırmada ulaşılan sonuçlar göstermektedir ki Ilgın Ağacı, Datça bölgesinde su kıtlığından, türlerin yer değiştirmesine, yangın tehlikesinden, nehir kıyısındaki alanlarda diğer bitki türlerinin yerlerinin alınarak istila edilmesine ve değişen toprak sistemlerine kadar pek çok olumsuzluğun sorumlusudur. Ayrıca bu makale Ilgın Ağacının risklerini sona erdirmek ve azaltmak için gerekli önerileri sunarken, acil kontrol önlemlerinin alınması gerektiğini de savunmaktadır. Genel olarak, bu çalışma, gelecekteki aşırı su tüketiminin önlenerek yeraltı tatlı su kaynağının tükenme oranının düşürülmesi için kıyı bölgelerinden başlayıp Datça'nın iç bölgelerine yayılan Tamarix parviflora türü Ilgın Ağaçlarının popülasyonunun azaltılması gerektiğinin de altını çizmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Datça, Ilgın Ağacı, İstilacı tür, Su kıtlığı, Tamarix parviflora.

\* Corresponding Author: [ernurakiner@akdeniz.edu.tr](mailto:ernurakiner@akdeniz.edu.tr)

## 1. Introduction

Tamarix tree, commonly termed as salt cedar (*Tamarix parviflora* mainly planted in Datça, *Tamarix ramosissima*, *Tamarix chinensis*, and *Tamarix aphylla*), is an invasive plant that has been overly considered for landscaping purposes. It belongs to the Tamarisk Family (Tamaracaceae). The plant is a deciduous and decorative shrub majorly admired for its feathery foliage and tiny blossoms. Simultaneously, the plant is referred to as an ancient cultivar and best praised for its resilience in impeccable habitats (Sher et al., 2018). Interestingly, salt cedar is a pretty flowering shrub with a magnificent addition to the landscape (Xia et al., 2021). More so, the plant is noted to have a framed resistance on saline soils and habitats, a reason that makes it efficient for a sea garden. Notably, *Tamarix* spp traces its habitats more in the Southwest US and northern Mexico. In many countries, particularly in the UK, the plant's application range as a favorite coastal decoration.

However, several questions arise regarding the recreational implementation of the *Tamarix* tree. In coastal areas, especially beach areas, some municipalities are planting *Tamarix* trees for landscape purposes. They aim to create a green cover that does not require irrigation and maintenance on the coastline by planting these trees that can consume salty seawater. However, what happens if it negatively affects the environment, such as water scarcity, in a more extended period? Could the *Tamarix* plant harm the ground in the future? Is there a possibility of spontaneous expansion from the coast towards the interior? Does this situation cause depletion of clean water resources, decreased plant diversity, and natural habitat change? Is it wise to use *Tamarix* tree for landscaping on beaches, or is it a short-term solution but an environmental problem in the long term?

Over the years, the *Tamarix* tree has been considered an invasive alien plant that does more harm than good in its application along coastal beaches. Initially, the plant was introduced across the US coastlines for recreation purposes. The plant has been linked with efficient landscaping by creating a green cover efficient enough not to require irrigation. However, the invasive impact tied to the *Tamarix* tree, also called salt cedar, alters the soil system and changes the community and ecosystem processes. Its invasive nature's adverse implications have caused detrimental environmental outcomes ranging from the displacement of native vegetation and animals and lowering the water table. Wildlife is affected by the *Tamarix* due to a lack of protein found in the plant rendering it unfit for consumption. Many native birds also find the plant undesirable. More so, the *Tamarix* spp is linked to altered soil salinity and increased fire frequency (Los Huertos, 2020). Ideally, salt cedar application as a short-term solution to stand stabilization has induced a long-term era of premature loss across the coastal beaches.

Thus, nowadays, coastal dunes stand as some of the most threatened ecosystems due to the invasion of alien plant species (Gallego-Fernández et al., 2021). The sand's short-term stabilization was almost always reached at the expense of long-term ecological sustainability (Feagin et al., 2019).

### 1.1. Problem Statement

The introduction and continued use of *Tamarix* tree species in various parts of the world have become more problematic than anticipated. As a once introduced species to counter flooding and drain swamps, the plant has been quite effective. However, it was

not until decades later that its extremities in the environment were detected.

Adverse environmental effects, primarily on coastal areas where the plant is used for landscaping, are pretty rampant. Mainly, *Tamarix* spp is linked to massive damage to the ecosystems where it habits. More importantly, the problem of water scarcity and increased wild and forest fires is at its peak. Besides that, the displacement of native plants from their natural habitats and a consequential impact on wild animals is also a trending factor. Furthermore, the salt excretion from salt cedar inhibits the growth and development of other plants. While the plant was considered a short-term solution to flooding problems, it has seemingly turned out to impose long-term adversities on the environment.

### 1.2. The Motivation

Research Objectives are to establish the adverse implications of *Tamarix* spp plant to the environment, review various literature regarding the negative impact of *Tamarix* tree on the ground, and develop a foundation for effectively controlling *Tamarix* tree impacts.

Another question that arises is if the *Tamarix* tree is dismantled to decrease the *Tamarix* tree's negative impact, what could be an alternative tree name(s) that can replace *Tamarix*, compatible with the Mediterranean climate, grow in a short time, tolerant to the salty water like *Tamarix*, but does not harm the habitat like *Tamarix*?

### 1.3. Background Information: History and Features of *Tamarix* spp

As a lovely and flowering shrub, the history and original habitat for the *Tamarix* tree trace back to Eurasia. The *Tamarix* is known to us from the Bible; when Abraham reached Beersheba, the first thing he did was plant a tamarisk tree to sit underneath since it is a very rapid growing weed (King James Bible, 2020).

A large portion of the *Tamarix* tree-related researches has been conducted in the United States of America (US). Notably, the plant was first introduced in the US in the 1800s from Europe, Asia, and North Africa (El Waer et al., 2018). More importantly, the plant was explicitly introduced in the US as an ornamental plant for landscaping. Over the years, the *Tamarix* species has spread and occupied more than 800,000 ha in a riparian habitat in the US's southwestern region. Among the widely considered and utilized *Tamarix* species include *Tamarix ramosissima*, *Tamarix chinensis*, and *Tamarix aphylla*.

*Tamarix* spp is an aggressive and habitat generalist with a spreading characteristic of either a tree or a shrub. El Waer et al. (2018) explain that the plant exhibits many offspring alongside high longevity. Besides that, salt cedar has a height range of between 1.5 – 8 meters tall (Powell, 2005). Notably, *Tamarix* spp has a high existence length of close to 100 years and can produce an average of 500,000 seeds annually (Sher et al., 2018).

*Tamarix* (Saltcedar) tree is very prolific, and it also conditions the soil so that other plants can't grow around it after a few years. Therefore it takes all of the water, nutrients, space, and sunlight from the other plants. Leaves are shed every winter, and they fall to the ground. They condition the soil then nothing else can grow around them because it is too salty. It is making its bed just for itself and its offspring to grow display. In a lot of different ways, it knows how to survive.

Further, the plant has distinguished petals and sepals grouped in fours and fives and a higher capability to be established based on a large seed output. Furthermore, *Tamarix* spp is highly known for its high-water consumption rate, with a record of more than 750 liters per day (Owens & Moore, 2007).

According to research, the plant is majorly characterized by its high drought resistance capabilities (El Waer et al., 2018). Further, more studies illustrate that salt cedar has a high evapotranspiration rate that makes it easily adaptable to water availability (El Waer et al., 2018). Similarly, the plant manifests a facultative phreatophyte alongside an adjustable feature that allows it to rely on both surface and groundwater (Xia et al., 2021). In this light, the plant has been linked with displacing and replacing native plants like cottonwoods, willows, and other riparian vegetation from their natural habitats. Notably, after introducing the *Tamarix* spp, species in the US and other world parts, its severe implications were later noted. Upon its introduction in the US, particularly around the 1800s, the plant's landscaping uses were preceded by its threats to the environment. Around the 1920s, the plant was identified as a potential threat to vegetation and other ecosystems (Chew, 2009).

#### **1.4. Literature Review**

The ecological threats posed by *Tamarix* spp have cost a gross loss environmentally and continues to increase the vulnerability of all ecosystems, especially regarding the inhospitality of the riparian areas. According to a study conducted by Marlin et al. (2017), the *Tamarix* tree is an invasive species that extends beyond its native range. The fact that the plant is saline tolerant and excretes salt through their leaves glands exposes the surrounding plants to growth difficulties (Marlin et al., 2017; El Waer et al., 2018). In this light, the plant is highly linked with making the surrounding area inhospitable for other species. Similarly, El Waer et al. (2018) argue that the plant's specific characteristics, like being deeply rooted, allow it to reach deeper water tables than other plants could.

On another note, Setshedi & Newete (2020) highlight a decline in the diversity of plants and animals around these riparian areas, an instance that raises more concern for *Tamarix* species. More so, Raynor et al. (2017) explore that riparian areas have been primarily affected by invasive and non-native plants. Further, the researchers have established that inhospitality across riparian habitats is a growing global problem majorly common in *Tamarix*-dominated sites (Raynor et al., 2017; Uhey et al., 2020). Furthermore, non-native plants like *Tamarix* spp have induced ecological changes across these habitats, thus altering the natural homes for various species. Notably, another research by Liu et al. (2017) indicates that *Tamarix* species cause an increase in soil salinity by raising the salt content.

Secondly, research illustrates how alien species, for example, *Tamarix* spp, have impacted the longevity and adaptability of coastal dune communities (Šilc et al., 2019). The dominance of the *Tamarix* plant in the coastal vegetation threatens the survival of the dunes and the associated ecosystems. Notably, in their research, Stešević et al. (2017) explain that continued disturbances of alien species continuously threaten dunes' prevalence as solid ecosystems. Further, the study indicates that alien species pose both natural and anthropogenic disturbances that compromise dunes' thriving and survival rates in their invaded habitats (Stešević et al., 2017). Lack of diversity among dune ecosystems is also a significant impact from *Tamarix* spp

(Šilc et al., 2019). In this light, Šilc et al. (2019) explain the conflicts between nature conservationists and landscape planners if the *Tamarix* tree is detrimental.

Research highlights that salt cedar has highly impacted wildlife, especially since it is not fit for their consumption (Kueffer, 2017). The leaves and stems of salt cedar secrete high salt content to the ground, raising the surrounding soils' salinity (El Waer et al., 2018; Erfanifard & Khosravi, 2019; Liu et al., 2017). Less growth of native plants reduces the food available for wild animals. On another note, Horoshevsky (2020) confirms that the high salt content of *Tamarix* spp inhibits the protein content. Furthermore, the research highlights that the lack of protein found in the plant renders it unfit for consumption, hence predominantly affecting the wildlife (Horoshevsky, 2020).

At the same time, another study illustrates that native birds similarly find the plant undesirable and unfit for consumption (Raynor et al., 2017). More so, a study by Richards et al. (2021) explains that *Tamarix* spp has resulted in poor habitat for most wildlife. Richards et al. (2021) also spotlight that *Tamarix* species have reduced the cobble bars and back channels as essential and crucial elements for healthy fish habitat. Therefore, other studies establish that the plant is linked with changes in the natural habitats; hence wildlife survival in their invaded habitats is compromised (El Waer et al., 2018).

Besides that, Richards et al. (2021) confirm that *Tamarix* spp contributes to water wastage and long-term shortage in interior and semiarid regions. In their study, Chen et al. (2019) point out that *Tamarix* has a high evapotranspiration rate that accounts for 60.2% of the average evapotranspiration rate. Statistics from the same research highlights that the evapotranspiration rate ranged from 514.2 to 573.8 mm annually (Chen et al., 2019). Consequently, the depletion of fresh and clean water sources is observed by El Waer et al. (2018). Another study illustrates that the *Tamarix* species consume more than 4-acre feet (4933 m<sup>3</sup>) of groundwater annually. In their research, Richards et al. (2021) identify that tamarisk's tendency to grow in high densities increases daily water uptake compared to the riparian vegetation. The same study explains that tamarisk plants' deep roots allow them to access deeply positioned groundwater alongside other areas far from riverbanks (Richards et al., 2021).

Lastly, research indicates that tamarisk is linked to increasing wild hazards such as fires (Richards et al., 2021). On the same note, the study suggests that *Tamarix* is a fire-resistant plant with leaves, roots, and stems adaptable to fire niches (Richards et al., 2021). Simultaneously, a study by El Waer et al. (2018) also illuminates that *Tamarix* species' roots are well adapted to sprout and develop in burning or burnt areas. Further, due to the dense thickets and woods in the *Tamarix* habitats, large amounts of dead and live dry woody materials are common, which add to fuel load hence increasing the ecosystem's vulnerability in such surroundings (Richards et al., 2021). Therefore, some researchers have focused on how attempts to control *Tamarix* are faring (González et al., 2017). Researches by Sher et al. (2018) and Mc Kay et al. (2018) illuminate that various control measures such as biological control have been utilized to reduce *Tamarix* impact. McAlpine et al. (2021) also suggest that succession trends are an efficient biological control method that manipulates the survival of *Tamarix*. El Waer et al. (2018) and Richards et al. (2021) also confirm the research by Sher et al. (2018) that mechanical control methods like cutting, chemical treatment, and root plowing are efficient ways to reduce resprouts of *Tamarix* species. Similarly,

research by Woutersen et al. (2018) highlights that alternative plants may be considered in place of *Tamarix*, such as *Nitraria sibirica*. Since both plants have similar adaptation characteristics, *Nitraria* is less detrimental compared to *Tamarix*.

## 2. Material and Method

### 2.1. Study Area

Datça - Bozburun Special Environmental Protection Area belongs to Muğla province. It was determined and announced by the Council of Ministers Decision No. 90/1117, dated 22.10.1990. Its population is 27,000, and it exceeds 40,000 in summer. Its total

area is 1444 km<sup>2</sup> (Yalçın, 2017). The region's mean altitude is 200 meters, and Datça centrum coordinates are 36°43'42" E, 27°39'07" N.

The Datça Peninsula is a great horst block between the Gökova Graben and the Hisarönü Graben. Datça-Bozburun Peninsulas generally consists of sloping, very stony, and degraded lands exposed to erosion. Approximately 95% of the 47 698 hectares of land available in Datça is rocky. The area that can be used efficiently for agriculture in the region does not exceed 10,000 hectares. The total forest area in the region is 110,359 hectares. In Figure 1, the surrounding red line indicates Datça-Bozburun Special Environmental Protection Area.

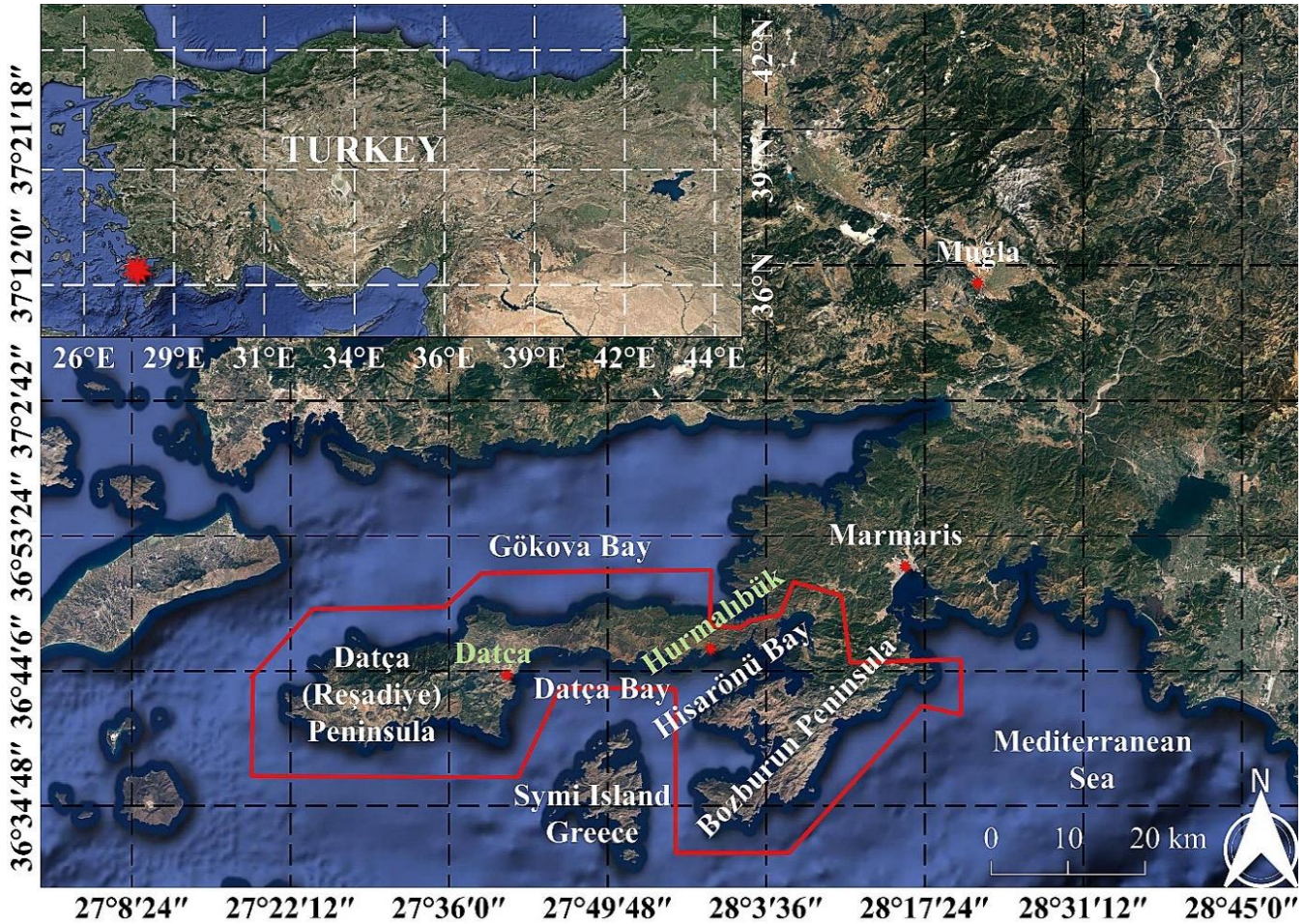


Figure 1. Datça-Bozburun Special Environmental Protection Area

Although it is known as a peninsula, Datça acts as an island due to the rock formations that do not allow fresh water to pass from the mainland. As a result of the tectonic movements in the Datça and Bozburun peninsulas, following the uplift and collapse (horst and graben), important streams and their branches were plunged into the land, the seawater tide and formed extraordinary beautiful bays and gulfs (Gökgöz & Akdağoğlu, 2016). There are no large streams and rivers in the study area that show a regular flow in a topographic structure (Gül et al., 2017). In general, flow in stream beds is seen in rainy seasons and streams dry up entirely in the summer months.

About 60% of the lands have medium (6-12%), steep (12-20%), and very steep (20-30%) slopes due to the very poor topography and the prevalence of mountains and hills. Due to severe erosion in 28% of the land and very severe erosion in 32% (Total 60%), soils generally have shallow (20 cm-50 cm) and very shallow (less than 20 cm) depths (Ustaoglu et al., 2021).

*Tamarix parviflora* trees planted on the coast of Datça for landscape purposes have been preferred in the last few decades due to their tolerant metabolism to seawater (see Figure 2). *Tamarix parviflora* planted in the Datça Centrum coastal area gradually spread from the coast towards the inner regions.





Figure 2. *Tamarix parviflora* trees planted in Datça Centrum

*Pinus brutia*, the most critical forest tree in the region, is incredibly close to the sea in dense communities in the lower parts. In some areas, it is rarely or not seen at all. Overgrown, high, or low bushes replace it.

*Phoenix theophrasti* (Datça date palm) is in the Hurmalibük Bay (36°45'42" E, 27°58'37" N), in the Datça Peninsula. In the

upper parts of the valley, palm trees disappear and leave their place in the *Pinus brutia* (red pine) forest (Boydak, 1985; Bozyiğit, 2020; Vardareli et al., 2019). *Phoenix theophrasti* is a beautiful and decorative-looking candidate to be a distinguished local type of park and garden (García-Granero et al., 2020). It can be rejuvenated naturally in seed and vegetative ways (See Figure 3).



Figure 3. *Phoenix theophrasti* trees in Hurmalibük, *Pinus brutia* trees in the rear

Datça and Bozburun Peninsulas are regions with limited agricultural potential due to their natural and physical structures. There is almost no garden and field agriculture, and the land is covered with almond and olive groves. Accordingly, agriculture is carried out in conditions without water. Almond is an essential source of livelihood in the region's economy, primarily due to the sales income. In addition to agriculture, the rural population earns its livelihood by beekeeping, fishing, working in the forest, or

collecting herbal products such as laurel, thyme, and carob. The economy of the peninsulas is based on the service sector. Tourism is the driving sector that develops other sectors in the region. These are trade, transport, construction, small industry sectors, and public services.

Datça is an arid region, and annual evaporation is higher than yearly rainfall. The annual average rainfall is 685 mm, potential

evaporation and transpiration are 950 mm. The situation is getting worse due to climate change (DSİ, 2017).

There are no rivers that can provide water to Datça. Spring waters are not suitable for wide-scale use. The only source is underground water storage. The largest aquifer in the Datça Peninsula is in Karaköy – Reşadiye – Kızılan region, which is called the Datça graben (crestal collapse graben). The geological structure of the peninsula does not allow groundwater to be fed from the mainland. In the Datça Plain water basin, the water budget depends on sources such as rainfall 15.0 million m<sup>3</sup> / year, and this value is 20 percent of the total annual rain retained through infiltration by the soil. Discharge from wells and springs is 9.2 million m<sup>3</sup> / year (discharge from springs 4.1 million m<sup>3</sup> / year, discharge from wells 5.1 million m<sup>3</sup> / year), discharge from underground to the sea is 5.8 million m<sup>3</sup> / year, Datça Basin operating reserve is 10.8 million m<sup>3</sup> / year (DSİ, 2000). State Hydraulic Works (DSİ) clearly states that aquifers' safety level is about to be exceeded. The safe water supply is in danger of running out (DSİ, 2017). 1999 consumption was 50 percent of the reserve, and the population has increased by nearly 50 percent since then. Agricultural production, including autumn tomato, has also increased significantly in the last 22 years. In this case, we can estimate that we have exceeded the 1999 consumption values by more than 50 percent. In other words, Datça has started to consume more than 2.7 million cubic meters of the additional annual reserve (Muski, 2017). All wells drain the same aquifer, and the aquifer is alarming. Hence, due to aquifer water use, the groundwater level is continually being lowered, and Datça observes the adverse effects of this situation. The wild olives, thyme, and puree in the highlands are drying up. The wells are drying and need to dig pumps deeper. Salinization has begun in the coastal wells. Wild-olive (*Olea oleaster*), Garden thyme (*Thymus vulgaris*), Tree Heath (*Erica Arborea*) are drying in high elevations. The almond tree (*Prunus dulcis*), on the other hand, faces low yield in the short term and the danger of drying in the future. If the increase of Tamarix Tree population is not limited, the existing water can not supply demanded water without the high-cost projects to find alternative resources.

As an example for the alternative source, the Hisarönü Dam project was planned in 2016 (Republic of Turkey Governorship of Muğla, 2017). Projected dam called Hisarönü Dam in the northeast, Bördübet Bay (36°47'39" E, 28°0'55" N), where the Sığla tree (*Liquidambar Orientalis*) and Ottoman Tombs, was decided to be built in 2016 to provide drinking water to Datça. Groundworks were carried out in the region. On the other hand, construction is frequently interrupted due to non-governmental organizations (NGO) representatives and villagers. Currently, studies continue at the planned stage. Transmission lines have

been completed in more than five years. The dam project is not entirely under construction, and it is not expected to be finished soon.

High costs are subjected both financially and environmentally to seawater purification. Technology is not yet fully matured, and it is costly. Unfortunately, there are no alternative resources in the short/medium term, and the aquifer will continue to drain, and nature will continue to die.

## 2.2. Biological and Mechanical Control of Tamarix

Tamarix trees compete with natural plant species such as Creeping Buttercup (*Ranunculus repens*), Shepherd's wand. (*Polygonum aviculare*), Hogweed (*Heracleum sphondylium*) and Common Glasswort (*Salicornia europaea*) in the areas they occupy because they increase the soil surface salt content with their leaves' fall, create a cover by preventing sunlight, and consume excessive water with their long roots, preventing their chances of survival. For these reasons, they cause a decrease in the variety of natural species in the region they invaded. The research states that the Tamarix trees proliferate in the soil contaminated with heavy copper, iron, manganese, zinc, and other metals. For these reasons, animals' grazing should not be allowed in environments where Tamarix trees are present. It is known that algae and waste that cover the sea surface, especially in the summer months, cause flies and stench by accumulating on Tamarix tree roots. It also causes unwanted pollution and odors since they hold the wastes such as garbage and algae that come with the warm winds and currents and the putrefaction on the bottom soil.

The studies suggest biological control using the Tamarisk Beetle (*Diorhabda elongate*) as a considerable approach to manage Tamarix. The Tamarix beetle's release and monitoring indicate that the leaf beetle only feeds on salt cedar and has no impact on native vegetation. Succession methods by using competitive species to manipulate the environment around Tamarix are also advocated for (McAlpine et al., 2021). Alternatively, another way includes mechanical control that can be achieved through cutting or root plowing of the salt cedar roots. Also, burning the mowed and plowed debris is essential to prevent the resprouting of adventitious buds. The findings also indicate alternatives such as *Nitraria* to a similar environmental condition (Woutersen et al., 2018).

Figure 4 summarizes the research methodology in a chart clarifying the results of the processes including the biological and mechanical control of Tamarix.

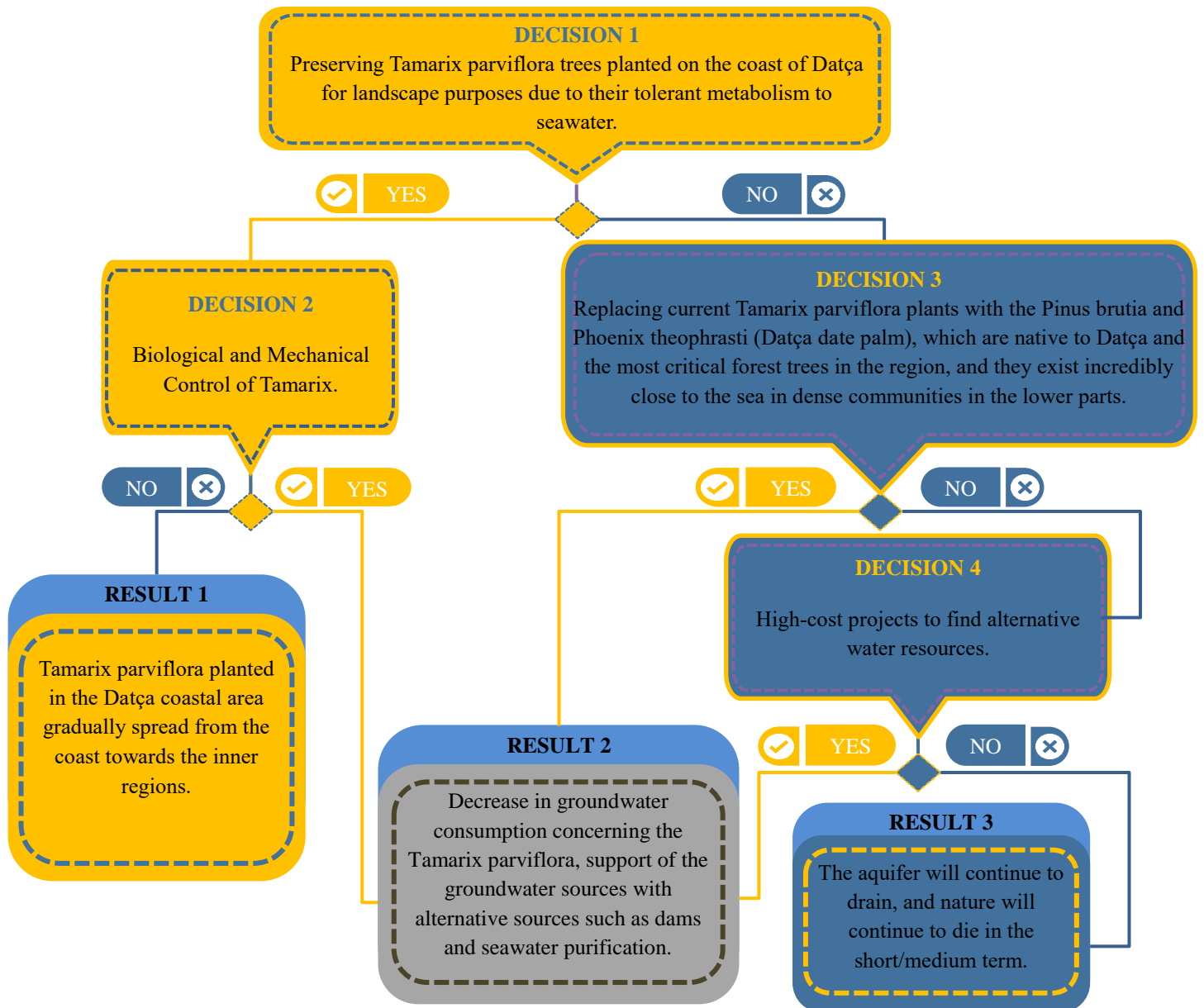


Figure 4. Summary of the research methodology

### 3. Results

According to these research findings, it was evident that Tamarix has adversely impacted the environment, especially the surroundings where it is dominant. With multiple pieces of literature focusing on the specific negative implications linked with Tamarix, the study compared and explored each view described by these studies. Among the significant findings tackled by various studies are the inhospitality of riparian areas and the overall displacement of native plants and wildlife.

The research found out that coastal dunes are also adversely affected by Tamarix through their natural and anthropogenic disturbances. More so, it was established that Tamarix impacts wildlife in terms of food accessibility and the growth of native vegetation. Water scarcity, in the long run, is also a big detrimental that affects the overall environment. Additionally, the lack of hospitality in the riparian regions causes significant changes in the ecosystem. Beyond that, Tamarix has established that Tamarix results in increased wild hazards like fires that further worsen habitats for native ecosystems.

Further, the results indicate that biological control through the Tamarix beetle *Diorhabda* spp is a quantifiable method to control the plant's spread and damaging effects (Richards et al., 2021); El Waer et al., 2018); Mc Kay et al., 2018). Results indicate that biological control may include successional trends using plants like box elder plants (McAlpine et al., 2021). More so, research highlights that succession plants like box elder are linked to a high mortality rate among Tamarix species. At the same time, considering alternative plants to replace Tamarix is quite a consideration.

Although little research has majored in possible plants to replace Tamarix, Woutersen et al. (2018) suggest that *Nitraria* (*Nitraria sibirica*) is an alternative halophyte. *Nitraria* is well adapted to saline environments and has a comparably high growth rate as Tamarix.

Glenn et al. (1998) state that 500 grams of water for every gram of water accumulated in Tamarix biomass is transpired, leading to extreme water consumption compared to the other species. Considering the water budget, removing the Tamarix

leads to storing more water in the subsurface (Gatewood et al., 1950; van Hylckama, 1974).

On the other hand, removing the vegetation reduces the soil's shading and causes evaporation greater than the transpiration from removed vegetation (Goodrich et al., 2000; Gazal et al., 2006). Replacing the deep-rooted plants with the shallow-rooted plants can be a solution where the water table is deeper (Wilcox et al., 2006). Replacement of the Tamarix with the native ground cover is the ultimate solution to decreasing groundwater loss (Nagler et al., 2005). Phoenix theophrasti and Pinus brutia are native to the region, and within this research, these two tree species were recommended to compose mixed vegetation. It is necessary to turn to alternative tree species in greening along the coast to prevent the Tamarix tree's damages. Phoenix theophrasti and Pinus brutia can be planted as an alternative to the Tamarix tree. Phoenix theophrasti trees are resistant to cold weather and moderate salt (Al Kharusi et al., 2017; Al-Khayri et al., 2018; Al Quariny et al., 2020). Tamarix has a high-water consumption rate of more than 750 liters per day (Owens & Moore, 2007). Days palm tree (Phoenix theophrasti) 150 - 210 L per day (El-Juhany, 2010; Hazzouri et al., 2020). Pinus brutia water consumption is

27 liters per day (Özçelik, 2018). It was highlighted that how the plant community composition change affects the result (see Figure 5).

Figure 5 shows that reducing the percentage of area covered by the Tamarix parviflora tree would significantly improve groundwater resources' future conservation. For example, if the area covered by Tamarix parviflora alone is shared equally with Pinus brutia and Phoenix theophrasti, fifty-six percent; seventy-two percent in the case of leaving the entire site to the Phoenix theophrasti tree; If existing Tamarix parviflora trees are replaced with Pinus brutia, water conservation of up to ninety-six percent is envisaged. Phoenix theophrasti, with its aesthetic appearance, resistance to seasonal temperature difference, and saltwater tolerance, would be appropriate for the coastal areas. Pinus brutia should be preferably planted instead of Tamarix parviflora trees in the inner regions, as it consumes very little water. Table 1 shows the comparison of Tamarix parviflora, Pinus brutia, and Phoenix theophrasti in terms of water scarcity, species displacement, fire hazards, inhospitality of riparian areas, and altered soil systems to understand their favor in the Datça peninsula.

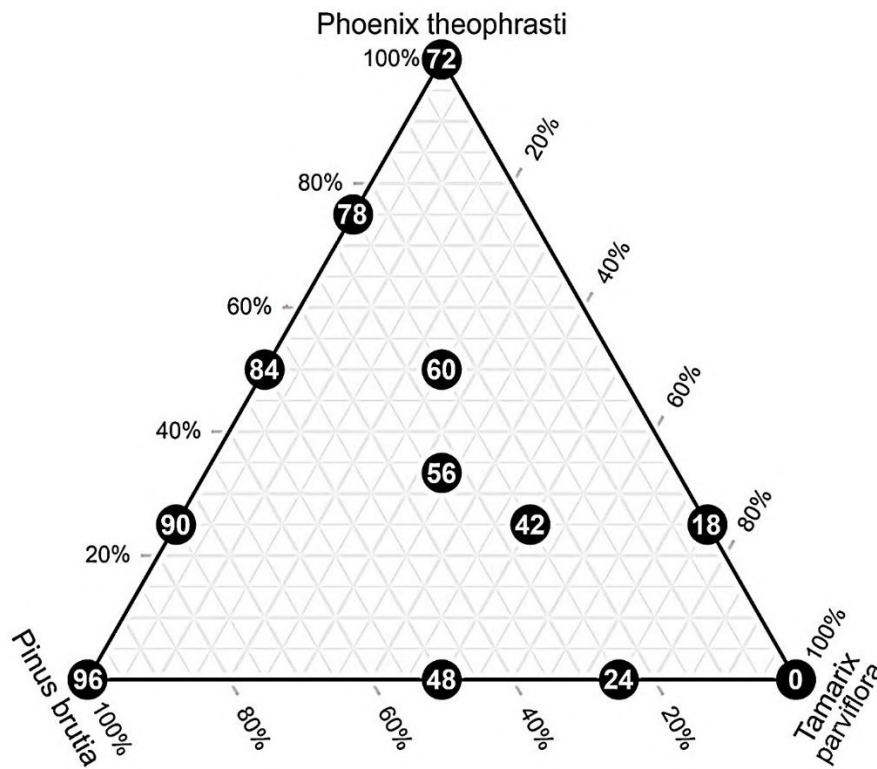


Figure 5. Percent reduction in groundwater consumption concerning the composition of plants in different percentages

Table 1. Ranks of Tamarix parviflora, Pinus brutia, and Phoenix theophrasti in terms of water scarcity, species displacement, fire hazards, inhospitality of riparian areas, and altered soil systems (1 - High, 2 - Moderate, and 3 - Low)

Plant type	Water scarcity	Species displacement	Fire hazards	Inhospitality of riparian areas	Altered soil systems
Tamarix parviflora	1 (Glenn et al., 1998)	1 (Marlin et al., 2017)	2 (Richards et al., 2021)	1 (Raynor et al., 2017)	1 (Los Huertos, 2020)
Pinus brutia	3 (Özçelik, 2018)	2 (Quézel et al, 1990)	1 (Dimitrakopoulos & Papaioannou, 2001)	3 (Holmquist et al, 2011)	2 (Li et al., 2020)
Phoenix theophrasti	2 (Hazzouri et al., 2020)	3 (Alston & Richardson, 2016)	3 (Dimitrakopoulos & Papaioannou, 2001)	2 (Holmquist et al., 2011)	3 (Chediack, 1999)

## 4. Discussion

Basing on the research findings, it is evident that Tamarix has over-extending adversities on the environment that have transpired since its introduction decades ago. The initial intent of using the plant for landscaping and recreation has become destructive in powerful ways unmeasurable. In this light, the plant is more associated with negativities than the initially imagined solution to flooding and overstretching river banks. Tamarix plant's commonly attributable consequences on the environment are; the inhospitality of riparian areas and displacement of native plants, poor adaptability of coastal dunes, negative impact on wildlife, long-term scarcity of water, increased wild hazards like fires, flooding, and control, respectively.

Tamarix spp is naturally adapted to salinity and excretes salts to the surrounding soils that cause a general change in the soil chemistry and structure due to the increased salinity. Consequently, this makes growth and development for the native vegetation difficult (Marlin et al., 2017). In this case, the riparian regions are rendered incompatible with the expected growth of native species. In this case, such species become extinct while others are completely displaced from their natural ecosystems. Therefore, this totals to declined diversity of species in the riparian regions due to the unfit environment.

Tamarix spp are classified as invasive species with intersexual characteristics that render them dangerous to dunes. Irrespective of how vital the dunes ecosystems are, the dominance of Tamarix results in their reduced capacity to withstand harsh environmental impacts (Gallego-Fernández et al., 2021). Consequently, there are also reduced ecosystems due to the reduced vegetation that supports the survival of dunes.

The general characteristic that renders Tamarix undesirable is its salt and deep roots that negatively impact the surroundings. Tamarix secretes salt through its leaves and stem and releases them to the surrounding. The salty nature reduces the amount of protein found in the plant, hence disadvantaging animals. Simultaneously, salt released to the soil raises its salinity, making it not potential to support the growth of native vegetation.

The saline nature and presence of deep roots increase the water accessibility and uptake of Tamarix. The plant reproduces in high densities, which also increases the surface area for water uptake. At the same time, Tamarix is linked with reduced water tables and water loss in semiarid regions due to the same. On a similar note, Tamarix spp has a high evapotranspiration rate, which increases the amount of water excreted through the leaves and deposited to the surrounding (Yu et al., 2017).

Notably, Tamarix is well adapted to fire cases and can potentially sprout and grow in such hazardous regions. More so, the dense woods and roots of Tamarix spp create large amounts of decaying and live woody materials that attract more fire hazards. In this case, more habitats are destroyed while multiple ecosystems are displaced and altered (Richards et al., 2021).

Tamarix forms an incredible stance that causes extreme troubles concerning flooding. The roots damage pipe systems, invade and plug up the sewerage pipes and the water supply system, and even damage the buildings' concrete foundations. Invasive root spread causes a risk of clogging the underground channels and having an unforeseen flooding event.

After they burn, they come back stronger, tend to self fertilizer, and come back much more robust and denser.

Since the negativities of Tamarix were noted, a century after its introduction, the US Department of Agriculture (USDA) has developed several approaches to counter the acute effects of Tamarix. Methods such as the elimination of Tamarix biologically through an insect called Tamarisk Beetle (*Diorhabda* spp) are utilized (Chen et al., 2019). Additionally, other reliable methods include mechanical control like cutting the roots or using chemicals to reduce sprouting instances.

The only way to kill the Tamarix tree is to get the roots out. It is necessary to remove the roots according to an effective treatment and management program, but that's not where it stops because these trees produce seeds ten months out of the year. There's always an active seed bank, and it just takes a little bit of moisture to get it planted. Through the herbicide treatments or manually pulling, the little Tamarix starts to keep it from growing back.

All of this demonstrates how expensive the Tamarix plant has become over time. Sharma et al. (2005) evaluated the economic impact of the invasive species Tamarix and predicted a value loss of \$7 to \$16 billion in ecosystems in the Western United States over 55 years.

Besides, it was revealed that, in replacing Tamarix trees with Phoenix theophrasti and Pinus brutia trees that are native to Datça in specific percentages, the groundwater consumed by the trees for metabolic water use could decrease high rate.

## 5. Conclusions and Recommendations

Currently, some alien species' environmental impact exists to be problematic irrespective of the control methods applied. The general change in the environment, alongside the Tamarix plant's negative implications, has raised too many concerns. Notably, Tamarix spp, also called salt cedar, was initially introduced in the US as an ornament and plant for landscaping along the coastal beaches. However, as time passed, the plant replaced the initially present native vegetation. Over time, the adversities of Tamarix worsened and took a toll on the environment. Remarkably, the riparian regions are no longer hospitable to the initial native vegetation due to the increased salinity. Hence, before the soil loses its fertility, the Tamarix parviflora trees have to be replaced by the native vegetation of Datça.

Further, issues of water scarcity were rampant and still are due to the reduced water tables. Additionally, both wildlife and native products were either extinct or displaced. Notably, such methods have been implemented to reduce the existing extremities. These methods' effectiveness is still in question, which renders the need for more research. More research is essential to establish solutions for the specific challenges posited by each impact.

In Datça, the plants and trees in higher elevations dry up because they cannot access sufficient water. The water in the wells near the sea is getting salty. It is necessary to use groundwater economically and consciously to avoid water shortage problems shortly. Unfortunately, it was impossible to establish this awareness in Datça, a summer resort. It is crucial to carry out infrastructure works that will provide water to aquifers during rainfall. To prevent water leakages and save water in homes, high-budget infrastructure works are an economic burden, so it is not

easy to implement soon. While Datça is currently suffering from a lack of water, it can not afford the future groundwater use by Tamarix trees, which gradually move from the beaches to the inner regions. This possibility should be avoided without delay.

## References

- Al Kharusi, L., Assaha, D. V., Al-Yahyai, R., & Yaish, M. W. (2017). Screening of date palm (*Phoenix dactylifera* L.) cultivars for salinity tolerance. *Forests*, 8(4), 136.
- Al-Khayri, J. M., Naik, P. M., Jain, S. M., & Johnson, D. V. (2018). Advances in date palm (*Phoenix dactylifera* L.) breeding. In *Advances in plant breeding strategies: fruits* (pp. 727-771). Springer, Cham.
- Al-Qurainy, F., Khan, S., Tarroum, M., Nadeem, M., Alansi, S., Alshameri, A., & Gaafar, A. R. (2020). Comparison of salt tolerance between two potential cultivars of *Phoenix dactylifera* L. growing in Saudi Arabia. *Pak. J. Bot.*, 52(3), 753-761.
- Alston, K. P., & Richardson, D. M. (2006). The roles of habitat features, disturbance, and distance from putative source populations in structuring alien plant invasions at the urban/wildland interface on the Cape Peninsula, South Africa. *Biological Conservation*, 132(2), 183-198.
- Boydak, M. (1985). The distribution of *Phoenix theophrasti* in the Datça Peninsula, Turkey. *Biological Conservation*, 32(2), 129-135.
- Bozyiğit, R. (2020). Seydikemer İlçesi (Muğla) Topraklarının Özellikleri ve Kullanımı Üzerine Bir Değerlendirme. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 695-706.
- Chediack, S. E. (1999). The small palm (*Allagoptera campestris*) in Misiones, Argentina. *Palms-Lawrence*, 43, 166-169.
- Chen, H., Yang, C., Ren, A., Guo, K., Feng, X., Li, J., ... & Wang, J. (2019). The Evapotranspiration of Tamarix and Its Response to Environmental Factors in Coastal Saline Land of China. *Water*, 11(11), 2273. <https://doi.org/10.3390/w11112273>
- Chew, M. K. (2009). The monstrosity of Tamarix: How scientists made a plant into a problem. *J. Hist Biol*, 42, 231-266.
- Dimitrakopoulos, A. P., & Papaioannou, K. K. (2001). Flammability assessment of Mediterranean forest fuels. *Fire Technology*, 37(2), 143-152.
- DSİ (2000). *Datça - Bozburun Environmental Plan Research Report*, Ankara.
- DSİ, (2017), *DSI General Directorate 2016 Annual Activity Report*, Ankara.
- El Waer, H. N., Henry, A., Merewether, K., & Sher, A. A. (2018). Invasion and restoration of western rivers dominated by Tamarix spp [Chapter 4]. In: Johnson, R. Roy; Carothers, Steven W.; Finch, Deborah M.; Kingsley, Kenneth J.; Stanley, John T., tech. Eds. 2018. *Riparian research and management: Past, present, future: Volume 1. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-377. Fort Collins, CO: US Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station* (p. 47-61). DOI: <http://doi.org/10.2737/RMRS-GTR-377-CHAP4>, 377, 47-61.
- El-Juhany, L. I. (2010). Degradation of date palm trees and date production in Arab countries: causes and potential rehabilitation. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 4(8), 3998-4010.
- Erfanifard, Y., & Khosravi, E. (2019). Saltcedar (*Tamarix mascatensis*) inhibits the growth and spatial distribution of eshnan (*Seidlitzia rosmarinus*) by enrichment of soil salinity in a semiarid desert. *Plant and Soil*, 440(1), 219-231. DOI: 10.1007/s11104-019-04064-3.
- Feagin, R. A., Furman, M., Salgado, K., Martinez, M. L., Innocenti, R. A., Eubanks, K., Figlus J., Huff, T. P., Sigren, J. & Silva, R. (2019). The role of beach and sand dune vegetation in mediating wave run up erosion. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 219, 97-106.
- Gallego-Fernández, J. B., Martínez, M. L., García-Franco, J. G., & Zunzunegui, M. (2021). Multiple seed dispersal modes of an invasive plant species on coastal dunes. *Biological Invasions*, 23(1), 111-127.
- García-Granero, J. J., Skoula, M., Sarpaki, A., Cárdenas, M., Madella, M., & Bogaard, A. (2020). A long-term assessment of the use of *Phoenix theophrasti* Greuter (Cretan date palm): The ethnobotany and archaeobotany of a neglected palm. *Journal of Ethnobiology*, 40(1), 101-114.
- Gatewood, J. S., Robinson, T. W., Colby, B. R., Helm, J. D., & Halpenny, L. C., (1950). *Use of water by bottom-land vegetation in lower Safford Valley, Arizona* (210 p.). US Geological Survey Water-Supply Paper 1103.
- Gazal, R. M., Scott, R. L., Goodrich, D. C., and Williams, D. G., (2006). Controls on transpiration in desert riparian cottonwood forest. *Agricultural and Forest Meteorology*, 137(1-2), 56-67.
- Glenn, E., Tanner, R., Mendez, S., Kehret, T, Moore, D., Garcia, J., & Valdes, C., (1998). Growth rates, salt tolerance and water use characteristics of native and invasive riparian plants from the Colorado River delta. Mexico. *Journal of Arid Environments*, 40(3), 261-294.
- Gökgöz, A., & Akdağoğlu, H. (2016). Hydrogeology and hydrogeochemistry of a coastal low-temperature geothermal field: a case study from the Datça Peninsula (SW Turkey). *Environmental Earth Sciences*, 75(15), 1-18.
- González, E., Sher, A. A., Anderson, R. M., Bay, R. F., Bean, D. W., Bissonette, G. J., ... & Shafroth, P. B. (2017). Vegetation response to invasive Tamarix control in southwestern US rivers: a collaborative study including 416 sites. *Ecological Applications*, 27(6), 1789-1804. <https://digitalcommons.unl.edu/usgsstaffpub>
- Goodrich, D. C., Scott, R., Qi, J., Goff, B., Unkrich, C. L., Moran, M. S., Williams, D., Schaeffer, S., Snyder, K., MacNish, R., Maddock, T, Pool, D., Chehbouni, A., Cooper, D. I., Eichinger, W. E., Shuttleworth, W. J., Kerr, Y., Marsett, R., & Ni, W., (2000). Seasonal estimates of riparian evapotranspiration using remote and in-situ measurements. *Agricultural and Forest Meteorology*, 105(1-3), 281-309.
- Gül, M., Danladi, I. B., & Kore, B. M. (2017). Coastal types of graben: the Gulf of Gökova, Mugla-SW Turkey. *Journal of Coastal Conservation*, 21(1), 127-138.
- Hazzouri, K. M., Flowers, J. M., Nelson, D., Lemansour, A., Masmoudi, K., & Amiri, K. (2020). Prospects for the study and improvement of abiotic stress tolerance in date palms in the post-genomics era. *Frontiers in plant science*, 11, 293.
- Holmquist, J. G., Schmidt-Gengenbach, J., & Slaton, M. R. (2011). Influence of invasive palms on terrestrial arthropod assemblages in desert spring habitat. *Biological Conservation*, 144(1), 518-525.
- Horoshevsky, N. (2020). Is Tamarix Evergreen? Find answer. <https://findanyanswer.com/is-tamarix-evergreen>
- Katz, O., & Stavi, I. (2020). Hierarchical effects of Tamarix aphylla afforestation in a sand dune environment on vegetation structure and plant diversity. *Forest Science*, 66(5), 568-577. <https://doi.org/10.1093/forsci/fxaa011>

- Li, S., Huang, X., Lang, X., Xu, F., Li, H., Zheng, M., & Su, J. (2020). Effect of selective logging on soil microbial communities in a *Pinus yunnanensis* forest. *Land Degradation & Development*, 31(16), 2268-2280.
- Liu, J., Rong, Q., & Zhao, Y. (2017). Variations in soil nutrients and salinity caused by tamarisk in the coastal wetland of the Laizhou Bay, China. *Ecosphere*, 8(2), e01672. <https://doi.org/10.1002/ecs2.1672>
- Los Huertos, M. (2020). Archeology of Inland Waters. *Ecology and Management of Inland Waters*, 27. DOI: 10.1016/B978-0-12-814266-0.00014-3
- Marlin, D., Newete, S. W., Mayonde, S. G., Smit, E. R., & Byrne, M. J. (2017). Invasive *Tamarix* (Tamaricaceae) in South Africa: current research and the potential for biological control. *Biological Invasions*, 19(10), 2971-2992. DOI: 10.1007/s10530-017-1501-6
- Mc Kay, F., Logarzo, G., Natale, E., Sosa, A., Walsh, G. C., Pratt, P. D., & Sodergren, C. (2018). Feasibility assessment for the classical biological control of *Tamarix* in Argentina. *BioControl*, 63(2), 169-184. <https://doi.org/10.1007/s10526-017-9855-3>
- McAlpine, K. G., Lamoureaux, S. L., & Timmins, S. M. (2021). Understory vegetation provides clues to succession in woody weed stands. *New Zealand Journal of Ecology*, 45(1), 3418. [https://www.researchgate.net/profile/Kate-Mcalpine/publication/344324539\\_Understory\\_vegetation\\_provides\\_clues\\_to\\_succession\\_in\\_woody\\_weed\\_stands/links/5f67de0e458515b7cf447203/Understory-vegetation-provides-clues-to-succession-in-woody-weed-stands.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Kate-Mcalpine/publication/344324539_Understory_vegetation_provides_clues_to_succession_in_woody_weed_stands/links/5f67de0e458515b7cf447203/Understory-vegetation-provides-clues-to-succession-in-woody-weed-stands.pdf)
- MUSKİ, (2017). *Muğla Water and General Directorate of Sewerage Administration, the municipal progress report for 2016*, Muğla.
- Nagler, P. L., Scott, R. L., Westenburg, C., Cleverly, J. R., Glenn, E. P., & Huete, A. R. (2005). Evapotranspiration on Western US rivers estimated using the Enhanced Vegetation Index from MODIS and data from eddy covariance and Bowen ratio flux towers. *Remote Sensing of Environment*, 97(3), 337-351.
- Noronha, N. (2020). *Why is salt cedar bad?* AskingLot. <https://askinglot.com/why-is-salt-cedar-bad>.
- Owens, M. K., & Moore, G. W. (2007). Saltcedar water use: realistic and unrealistic expectations. *Rangeland Ecology & Management*, 60(5), 553-557.
- Özçelik, M. S. (2018). Annual water consumption of an Anatolian black pine in a sub-humid region. *Forestist*, 68(2), 101-105.
- Powell, A. (2005). Salt cedar management in New Mexico. *Rangelands*, 27(4), 18-20.
- Quézel, P., Barbero, M., Bonin, G., & Loisel, R. (1990). Recent plant invasions in the Circum-Mediterranean region. In *Biological invasions in Europe and the Mediterranean Basin* (pp. 51-60). Springer, Dordrecht.
- Raynor, E. J., Cable, T. T., & Sandercock, B. K. (2017). Effects of *Tamarix* removal on the community dynamics of riparian birds in a semiarid grassland. *Restoration Ecology*, 25(5), 778-787. DOI: 10.1111/rec.12497
- Republic of Turkey Governorship of Muğla (2017). *Muğla Provincial Environmental Status Report 2016*. Muğla, Turkey.
- Richards, R., Whitesides, R., Poulson, C., Palmer, M., Belliston, N., & Hess, S. (2021). *What is Tamarisk? Rivers Edge West*. <https://riversedgewest.org/what-tamarisk>
- Setshedi, K. T. A., & Newete, S. W. (2020). The Impact of Exotic *Tamarix* Species on Riparian Plant Biodiversity. *Agriculture*, 10(9), 395.
- Sharma, G. P., Singh, J. S., & Raghubanshi, A. S. (2005). Plant invasions: emerging trends and future implications. *Current science*, 726-734.
- Sher, A. A., El Waer, H., González, E., Anderson, R., Henry, A. L., Biedron, R., & Yue, P. (2018). Native species recovery after reduction of an invasive tree by biological control with and without active removal. *Ecological Engineering*, 111, 167-175.
- Šilc, U., Stešević, D., Rozman, A., Čaković, D., & Kuzmič, F. (2019). *Alien species and the impact on sand dunes along the NE Adriatic coast. In Impacts of invasive species on coastal environments* (pp. 113-143). Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-319-91382-7\_4
- Stešević, D., Luković, M., Čaković, D., Ružić, N., Bubanja, N., & Šilc, U. (2017). Distribution of alien species along sand dune plant communities' zonation. *Periodicum biologorum*, 119(4), 239-249.
- The King James Bible (2020). *Genesis 21-33*. King James Bible Online. <https://www.kingjamesbibleonline.org/Genesis-21-33/>
- Uhey, D. A., Rowe, A. K., & Kendall, D. (2020). *Tamarisk Alters Arthropod Composition, but has Little Negative Effect on Richness and Abundance in Southwestern Colorado*. *Southwestern Entomologist*, 45(3), 585-600. <https://doi.org/10.3958/059.045.0301>
- Ustaoglu, B., Ikiel, C., Dutucu, A. A., & Koç, D. E. (2021). Erosion Susceptibility Analysis in Datça and Bozburun Peninsulas, Turkey. *Iran J Sci Technol Trans Sci*, 45(2), 557-570.
- van Hylekama, T. E. (1974). *Water use by saltcedar as measured by the water budget method* (30 p.). US Geological Survey Professional Paper 491-E.
- Vardareli, N., Doğaroğlu, T., Doğaç, E., Taşkın, V., & Taşkın, B. G. (2019). Genetic characterization of tertiary relict endemic *Phoenix theophrasti* populations in Turkey and phylogenetic relations of the species with other palm species revealed by SSR markers. *Plant Systematics and Evolution*, 305(6), 415-429.
- Wilcox, B. P., Owens, M. K., Dugas, W. A., Ueckert, D. N., & Hart, C. R. (2006). Shrubs, streamflow, and the paradox of scale. *Hydrological Processes*, 20(15), 3245-3259.
- Woutersen, A., Jardine, P. E., Bogotá-Angel, R. G., Zhang, H. X., Silvestro, D., Antonelli, A., ... & Hoorn, C. (2018). A novel approach to study the morphology and chemistry of pollen in a phylogenetic context, applied to the halophytic taxon *Nitraria L.* (Nitrariaceae). *Peer J*, 6, e5055. DOI: 10.7717/peerj.5055.
- Xia, J., Lang, Y., Zhao, Q., Liu, P., & Su, L. (2021). Photosynthetic characteristics of *Tamarix chinensis* under different groundwater depths in freshwater habitats. *Science of The Total Environment*, 761, 143221.
- Yalçın, G. (2017). Using of Remote Sensing/GIS Technology on Special Environmental Protection Areas in Turkey and Sustainable Land Management. In I. Koleva, U. D. Yuksel & L. Benaabidate (Eds.), *Ecology, Planning and Design* (pp. 338-428). St. Kliment Ohridski University Press, Sofia, Bulgaria.
- Yu, T., Qi, F., Si, J., Zhang, X., & Zhao, C. (2017). *Tamarix ramosissima* stand evapotranspiration and its association with hydroclimatic factors in an arid region in northwest China. *Journal of Arid Environments*, 138(1), 18-26. DOI: 10.1016/j.jaridenv.2016.11.006



# Methods and Devices Used in Determining the Quality of Electric Wires Terminal Crimping

Umut Emre Uzun<sup>1</sup>, Turgut Karademir<sup>2</sup>, Nihat Pamuk<sup>3\*</sup>, Nevzat Onat<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Zonguldak Bulent Ecevit University, Faculty of Engineering, Department of Electrical and Electronics Engineering, Zonguldak, Turkey, (ORCID: 0000-0002-6209-2962), [umut.uzun@beun.edu.tr](mailto:umut.uzun@beun.edu.tr)

<sup>2</sup> Manisa Celal Bayar University, Faculty of Engineering, Department of Electrical and Electronics Engineering, Manisa, Turkey, (ORCID: 0000-0001-9044-1552), [karademir.turgut.elk@yandex.com](mailto:karademir.turgut.elk@yandex.com)

<sup>3\*</sup> Zonguldak Bulent Ecevit University, Faculty of Engineering, Department of Electrical and Electronics Engineering, Zonguldak, Turkey, (ORCID: 0000-0001-8980-6913), [nihatpamuk@gmail.com](mailto:nihatpamuk@gmail.com)

<sup>4</sup> Manisa Celal Bayar University, Faculty of Engineering, Department of Electrical and Electronics Engineering, Manisa, Turkey, (ORCID: 0000-0002-2244-4441), [nevzat.onat@cbu.edu.tr](mailto:nevzat.onat@cbu.edu.tr)

(First received 24 June 2021 and in final form 22 August 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.957230)

**ATIF/REFERENCE:** Uzun, U. E., Karademir, T., Pamuk, N. & Onat, N. (2021). Methods and Devices Used in Determining the Quality of Electric Wires Terminal Crimping. *European Journal of Science and Technology*, (27), 221-227.

## Abstract

In this study, it is planned to investigate the analysis methods and devices used for analysis in the quality determination of terminal crimping in the rapidly developing and growing ready-made electrical cable manufacturing sector. Electric cables are used both in data exchange and transmission of electric current. For this reason, it is always desired that its assembly be done easily and reliably. For this, a connection element called terminal is placed at the end of the cable. This process is called terminal crimping. Terminal crimping can be performed manually with the help of crimping pliers or with semi-automatic or fully automatic machines. However, the process may not always be performed in the desired quality. Losses in data transmission may occur as a result of poor quality crimping. In the transmission of electrical current, undesirable events such as cable heating, explosion, fire may occur as a result of bad contact. For this reason, some quality control devices or test platforms to be designed are needed to determine the quality of the terminal crimping operations. Determination of the crimp quality in existing quality control devices is mainly made by electrical testing, cross-sectional imaging and force analysis methods. In this study, comparative analysis of methods and tools for determining the crimp quality in cable manufacturing industry has been made. Defects that may be encountered in crimp processes and their characteristics are revealed, and the reasons for preference, advantages and disadvantages of destructive/non-destructive quality control techniques are summarized.

**Keywords:** Cable manufacturing, Terminal crimping, Crimping quality, Quality control methods.

## Elektrik Kabloları Terminal Çakım Kalitesini Belirlemede Kullanılan Yöntem ve Cihazlar

### Öz

Bu çalışmada, günümüzde hızla gelişen ve büyüyen hazır elektrik kablosu imalat sektöründe terminal çakım (krımpleme) işleminin kalite tespitinde kullanılan analiz yöntemlerinin ve analiz için kullanılan cihazların araştırılması planlanmıştır. Elektrik kabloları hem veri alışverişinde hem de elektrik akımının iletiminde kullanılmaktadır. Bu nedenle montajının her zaman kolay ve güvenilir bir şekilde yapılması istenir. Bunun için kablunun ucuna terminal adı verilen bağlantı elemanı yerleştirilir. Bu işleme terminal çakımı (krımpleme) adı verilir. Terminal çakım işlemi sıkma pensesi yardımı ile manuel olarak ya da yarı otomatik veya tam otomatik makineler ile gerçekleştirilebilir. Ancak yapılan işlem her zaman istenilen kalitede gerçekleştirilemeyebilir. Kalitesiz çakım işlemi sonucunda veri iletiminde kayıplar yaşanabilir. Elektrik akımının iletiminde ise kötü temas sonucu kablo ısınmaları, patlama, yangın gibi istenmeyen olaylar olabilir. Bu nedenle yapılan terminal çakım işlemlerinin kalitesinin belirlenmesi için bazı kalite kontrol cihazlarına veya tasarlanacak test platformlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Mevcut kalite kontrol cihazlarında çakım kalitesinin belirlenmesi temel olarak elektriksiz test, kesit görüntüleme ve kuvvet analizi yöntemleri ile yapılmaktadır. Bu çalışmada kablo işleme endüstrisinde çakım kalitesini belirleme yöntemleri ve araçlarının karşılaştırmalı analizi yapılmıştır. Çakım işlemlerinde karşılaşılabilecek hatalar ve özellikleri ortaya konularak, tahribatlı/tahribatsız kalite kontrol tekniklerinin tercih nedenleri, avantaj ve dezavantajları özetlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Kablo imalatı, Terminal çakımı, Çakım kalitesi, Kalite kontrol yöntemleri.

\* Corresponding Author: [nihatpamuk@gmail.com](mailto:nihatpamuk@gmail.com)



Table 1. Analysis of error types that will may occur in terminal crimping process (Deveci, 2013)

### 1. Introduction

Today, electrical cables are used for electrical power and signal transmission in the white goods, automotive and defense industry, biomedical devices and many other areas. After the manufacturing phase, electrical cables are subjected to a process called cable grouping. Cable grouping is the process of determining the properties of electrical cables and classifying them according to certain standard. After this process, the cable end is stripped and the terminal crimping process is performed.

Crimping is the most preferred method used to connect the an electrical cable with a the terminal (Ogihara, Takata, Hattori, & Yoshida, 2006). Terminal crimping is the process of placing the connection element called "terminal" or "connector" at the end of the cable in order to provide permanent electrical contact, to realize electrical power and signal transmission without noise and to increase safety (Ocoleanu, Cividjian, & Manolea, 2014). This process is performed by deforming the open or closed terminal leg on the cable by mechanical pressure, which is called cold welding (Elliott, 2007). Figure 1 shows samples of the most used classical and insulation displacement terminals (IDC) in this sector.



Figure 1. Classic and IDC terminal samples

Terminal crimping can be done manually by a person with a tool called crimping pliers. At the same time, crimping can be performed with semi-automatic or fully automatic machines that is available in the industry. Figure 2 shows the crimping pliers and the terminal crimping machine.

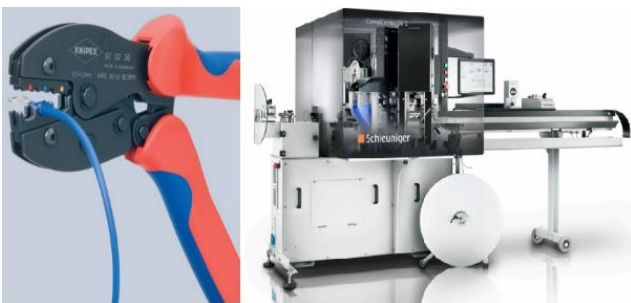


Figure 2. Terminal crimping pliers and terminal crimping machine (Knipex, 2019; Schleuniger1, 2019)

In terminal crimping operations, there should always be the highest level of mechanical and electrical connection between cable and terminal (Ocoleanu & Dolan, 2018). Since the terminal crimping process is a very complicated process, it is influenced by many factors (Fan, Gao, Li, & Xu, 2012). So the summarized errors in Table 1 may occur in terminal crimping.

Error Type	Error Description	Error Result
Low cable cross-section	It is the case of using a cable with a cross section other than the specified cable section.	The cable may cause overheating and fire. Transmission errors may occur as a result of loose contact between the cable and terminal connection.
Damaging to copper wires during cable cutting	It is the case of breaking or thinning of copper wires during cutting. It is dangerous. Terminal heating may occur in the final product.	When in the copper wire occur breaking, the product becomes junk.
Cutting copper wires during cable stripping (stripping knife error)	While stripping knife is stripping the insulation part, it is the case of cutting or damaging the copper wire.	It causes to become hot in the terminal and lose its function.
Not being at the desired value of crimp height	If the crimp height is not at the desired value, it means that the terminal is close or far from the cable end.	It causes to become hot in the terminal and lose its function.
Not being at the suitable features of crimping	If the crimping on the cable ends is wrong, there may be problem in the connection of the cable with the terminal or there may be visual disturbance.	It causes assembly difficulties or visual disturbances.

Crimping operations that have one or more of these errors are called poor quality crimping. Cables that are used in many places and purposes are exposed to vibration, temperature change and electrical environment (Rajak & Kore, 2017; Rajak & Kore, 2018).

For this reason, in data transmission cables, data loss problem can be experienced as a result of poor quality crimping. On the other hands, in electrical transmission cables, problems such as separation of the terminal from the cable can be experienced as a result of electrical heating and vibration. As a result of such possible problems, fire, device failure, loss of life and property may occur.

While some of the errors in Table 1 can be detected visually, some of them are almost impossible to detect visually. For this reason, different methods and analyzes have been carried out in order to detect the errors that occur in the crimping process.

## 2. Material and Method

### 2.1. Crimp Quality Measurement Methods

Depending on the application method, three methods come to the fore for the determination of the crimp quality. These; electrical test, cross-sectional imaging and force analysis. In addition, quality control methods can be classified into two main groups as destructive and non-destructive. In destructive methods, quality analysis is performed by samples taken from a certain number of products. Therefore, in result of the process, the cable is destroyed and scrapped. Although these methods are widely used, the reliability is low since the control of every manufactured product is not realized. The first two of the three methods mentioned above (electrical test and cross-section imaging) are sample-based methods. The more innovative method is the force analysis method, and this method has two different approaches. In this study, briefly the first two methods will be examined. Mainly force analysis methods will be examined.

#### 2.1.1. Electrical Test

In the electrical test, resistance profiles are created by taking samples from the cables made of a certain number of crimping. To measure the resistance, a test current is applied to the cable and the voltage drop on the cable is detected. The resistance value is calculated with "Ohm's Law" and the resistance profile of the sample is created (Camiresearch1, 2015). It is possible to perform electrical tests of both low voltage and high voltage cables with the devices that is available in the industry. In general, the measured resistance value varies according to the cable cross-section, length and the voltage and current range of the cable. In addition, this test only provides information about electrical performance, not mechanical performance. Therefore, serious difficulties arise regarding the stability of test results. An electrical test device can be seen in Figure 3.



Figure 3. Electrical test device (Camiresearch2, 2021)

#### 2.1.2. Cross- Section Imaging

In the cross-section imaging process, samples are taken from the cables made of a certain number of crimping. For this process, the crimp micrograph analyzer (crimp cross-section analyzer) is used. The samples are cut, polished, cleaned and made ready for examination under the microscope (Schleuniger2, 2018). The examination process is done under laboratory conditions with digital microscopes. This process takes about 5 minutes. This process, which requires laboratories and expensive equipment, also requires qualified workforce. Figure 4 shows the crimp micrograph analyzer. Samples are examined under a digital microscope and transferred to a computer environment.



Figure 4. Crimp micrograph analyzer (Schleuniger2, 2018)

Figures 5(a)-(b) are the cross-sectional views of the right crimping process. In quality crimping, the terminal legs should hold the conductive wires in a honeycomb structure. There should be no gap between the conductive wires and the terminal leg should not over tighten the conductors.

Figure 5(c)-(d)-(e)-(f) are cross-sectional views of the faulty crimping samples. In Figure 5(c), the terminal legs did not tighten the conductor wires sufficiently and some of the conductor wires were out. In Figure 5(d) and (e), there are gaps between conductive wires. In Figure 5(f), the terminal legs touched the terminal base by excessively tightening.

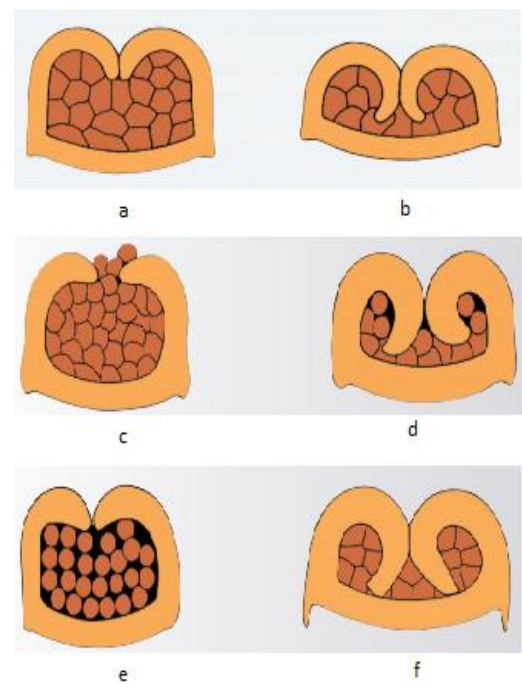


Figure 5. Correct and incorrect crimp section images (TEConnectivity, 2019)

#### 2.1.3. Force Analysis

Strength test of the terminal crimped cable is performed with the force analysis method. The strength test is a test that allow to be interpreted both electrically and mechanically of the terminal crimping process. Applying the correct force in the crimping process prevents the occurrence of erroneous crimping, shown in Figure 5, and ensures a correct crimping. As a result of correct crimping, both mechanical and electrical performance will be high. Two types devices used in the industry stand out for force analysis.

2.1.3.1. Pull Tester

There is a terminal head and a vice on pull tester. In the terminal head, each groove is designed according to standard cable cross sections. The motor located under the vice pulls the cable in a single axis at a constant speed. This speed should be in the range of 50-250 mm per minute according to USCAR (Standard1, 2018). The pull test can be performed in 3 different ways. These:

- Pull and Release: It is a non-destructive method in which the terminal is pulled up to a certain force and then the pulling force is removed.
- Pull and Hold: It is a non-destructive method in which the terminal is pulled up to a certain force and held at this force for a certain period of time. The pulling force is reduced to zero after the process.
- Pull, Hold and Break: It is a destructive method in which the terminal is pulled up to a certain force, held at this force for a certain time, and more pulling force is applied until the terminal is finally separated from the cable.

Pull tester generally work with the Pull, Hold and Break method. Table 2 shows the minimum breaking values of the IEC 60352-2 standard used in solderless connections (Standard2, 2013). The cable placed in the device is pulled until terminal separates from the cable. As a result of the pulling process, the breaking value and the minimum breaking value are compared by the operator or device. If the breaking value is lower than the minimum breaking value, it is determined that the crimping is poor quality. If the breaking value is higher than the minimum breaking value, it is determined that the crimping is good quality.

Table 2. Minimum breaking values for solderless connections according to IEC 60352-2 standard

Conductor Cross Section		Minimum Breaking Force
mm <sup>2</sup>	AVG*	
0.05	30	6
0.08	28	11
0.12	26	15
0.14		18
0.22	24	28
0.25		32
0.32	22	40
0.5	20	60
0.75		85
0.82	18	90
1		108
1.3	16	135
1.5		150
2.1	14	200
2.5		230
3.3	12	275
4		310
5.3	10	355
6		360
8.4	8	370
10		380
*Informational purposes only.		

The pull tester is a device that is made by taking random samples from the cables that are terminal crimped and generally performed destructively. Figure 6 shows the pull tester. The device reads the force values when the operator pulls the vise. The read force values are printed on the screen and the breaking value is recorded.



Figure 6. Pull tester (Mark-10, 2020)

2.1.3.2. Crimp Force Analyzer or Monitoring

There is a press system in terminal crimping machines to perform the crimping process. There is generally a piezoelectric force sensor under the area where the crimping process is performed. The sensor uses the piezoelectric effect to show the change in force. Piezo prefix is used in Greek in the meaning of press. Monitoring the force-time graph of the press system in the crimp force analyzer is provided by a piezoelectric force sensor. Figure 7 shows the combined use of the press and the crimp force analyzer.

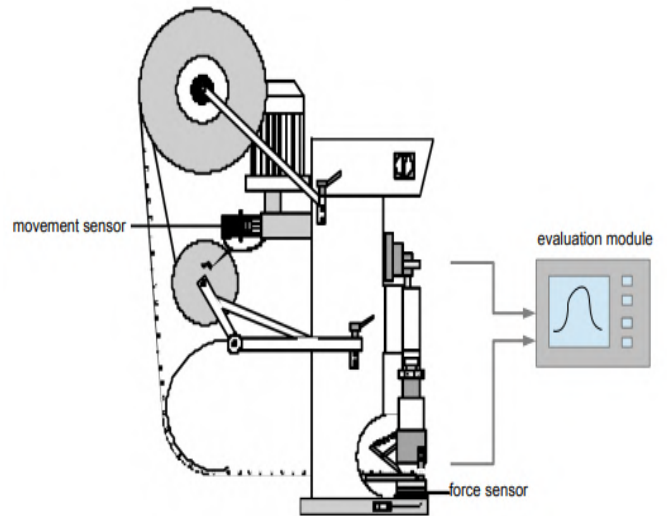


Figure 7. Combined use of press and crimp force analyzer (Schmid, 2013)

Each crimp process performed by the terminal crimp machine is monitored instantaneously and compared with the right crimp graph. As a result of the comparison, errors are detected.

In Figure 8, the interpretation of the force-time curve created by the crimp force analyzer is shown step by step. Figure 8(a) shows the typical crimp curve. By determining a threshold level in the force-time graph in Figure 8(b), the noise and discontinuity in the curve are ignored. In Figure 8(c), with the filter level line, the area where the terminal crimping process is performed, called the working area is determined.

The area of interest in the force curve is determined in Figure 8(d). Digital data in this range are read. In addition, the read data

are interpreted by taking into account the error range that varies in each application. The peak value is determined in Figure 8(e). This value gives the breaking force of the crimped terminal. It is one of the interpretation criteria that is important. In Figure 8(f), with the analysis of Zone 1 can detect some faults caused by faulty terminals, and with the analysis of Zone 2, the performance of the terminal conductivity behavior can be determined.

The crimp force analyzer is added to the crimping machine externally or internally and the instant force curve of each crimping is acquired. Thus, possible fault situations are immediately detected and the crimping machine can be intervened to correct the fault situations. In addition, the process of obtaining data with the crimp force analyzer does not cause any damage as in the other operations described.

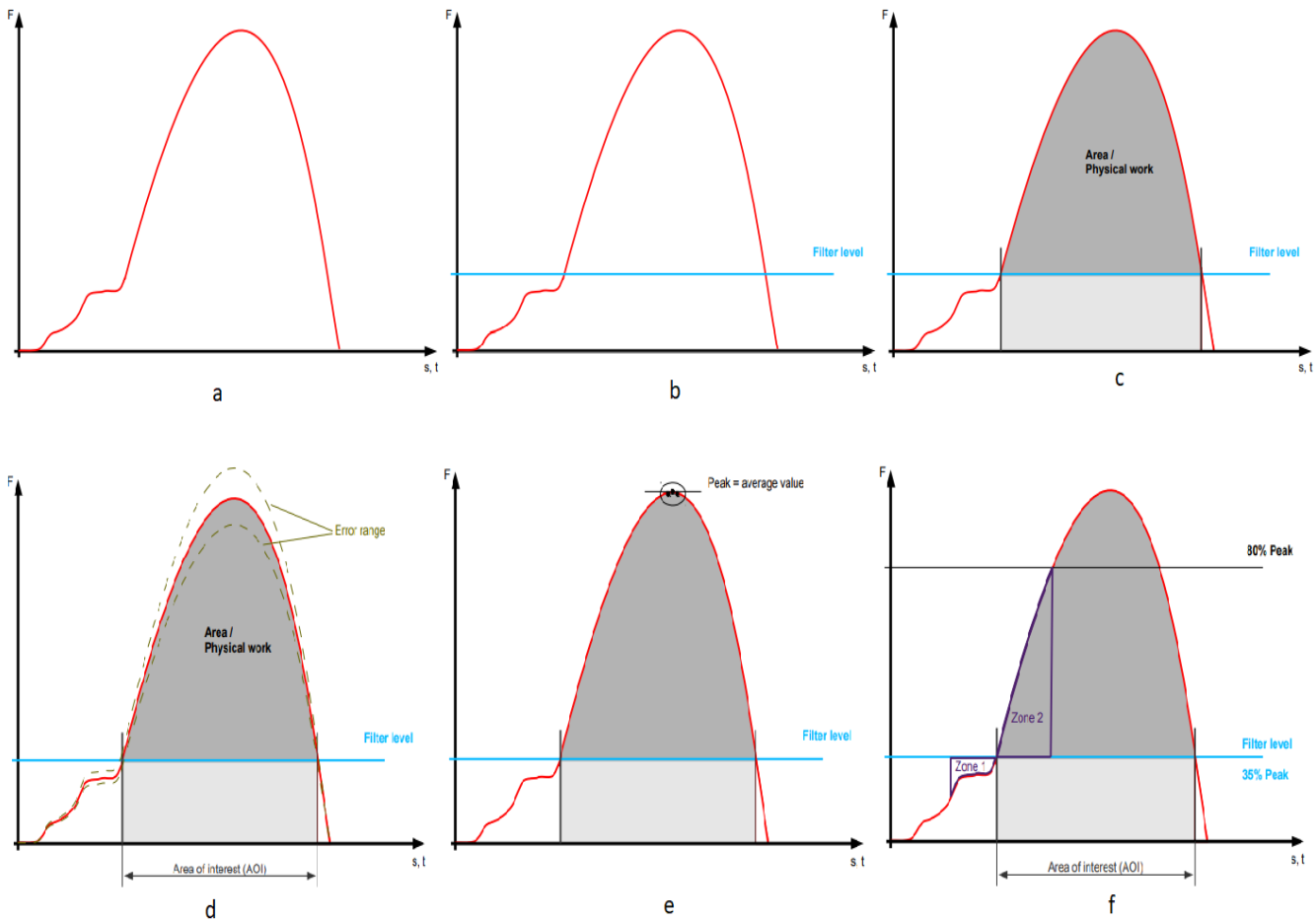


Figure 8. Interpretation of the force-time curve (Schmid, 2013)

### 3. Results and Discussion

In the study, the methods used to determine the quality of the terminal crimping process and industrial devices that determine the crimp quality using these methods were examined. Devices are classified according to the methods that are used, the advantages and disadvantages in Table 3.

Each method and device determines the crimp quality by interpreting data according to different criteria. It is sufficient to use the electrical test method and electrical test device in cases where the mechanical performance result is not required and only the quality determination is made based on the electrical performance result. However, this method tells only that crimping process is good quality or poor quality. The reason for poor quality can not be determined. In cases where it is desired to determine

the cause of poor quality, cross-section imaging and force analysis methods should be used.

The examinations made with the cross-section imaging method and the crimp micrograph analyzer are performed by qualified personnel, but the examinations take a long time. In addition, there is a situation of wrong deciding due to personnel.

There are 2 devices in the force analysis method. The pull tester gives the result of good quality and poor quality crimping according to the breaking force at the end of the process and cannot detect the cause of poor quality crimping. On the other hand, the crimp force analyzer transiently takes the force data at the start and end of the crimping process and creates the force curve. By interpreting the force curve, it determines the cause of poor quality crimping. In addition, since it works synchronously with the crimping machine, it may instruct the machine to stop the production in case of poor quality crimping. Thus, it prevents the emergence of faulty products.

Table 3. Comparison of methods and devices that are used to determine terminal crimp quality

Methods	Electrical Test	Cross-Section Imaging	Force Analysis	
Device	Electrical Test Device	Crimp Micrograph Analyzer	Pull Tester	Crimp Force Analyzer or Monitoring
<b>Procedure</b>	A random sample is taken from a certain number of crimped cable groups, a test current is applied to the sample and the voltage drop on the sample is measured. The resistance profile of the sample is established with Ohm's Law.	Crimp height, stripping length, and the condition of the conductor wires in the crimping area are investigated by randomly taking samples a certain number of cable groups.	Samples are taken from a certain number of crimped cable groups and the terminal, which is crimped to the end of the cable, is pulled in a single axis and at a certain speed until it disconnects from the cable.	The pressure force applied by the crimping press on the terminal is measured transiently by means of the sensor and a force curve is formed.
<b>Advantages</b>	The electrical performance result is easily determined.  The test is performed in a short time.  Qualified workforce is not needed.  Test cost is low.	Samples are examined in detail.	Mechanical performance is determined  The test is performed in a short time.  Qualified workforce is not needed.  Test cost is low.	Mechanical performance is determined  The test is performed instantaneously during the crimping process.  Qualified workforce is not needed.  There is no need for an operator.  Deciding algorithm has been developed.  It is a non-destructive method.
<b>Disadvantages</b>	It does not provide information about mechanical performance.  It is difficult to decide only based on electrical performance results.	The preparation of the sample for test and testing takes a long time.  Qualified workforce is needed.  In order to perform the test, laboratory and expensive test equipment are required.  The operator is needed.  There is a possibility of operator error.  It is a destructive method.	The deciding algorithm depends only on the breaking value. So there is a possibility of wrong deciding.  It is a destructive method.	Installation and device costs are high.

#### 4. Conclusions and Recommendations

The production capacity increase of many companies with the developing technology makes them potential customers of the ready-made cable manufacturing sector. In addition to the increasing production volume with each passing day, the cable manufacturing sector is constantly growing due to factors such as the fact that it is almost impossible to detect errors in manufacturing by eye.

This growth necessitates the completion of quality control processes with the least error and the fastest speed. In this study, quality control techniques in classic and IDC terminal crimping processes have been investigated.

Today, the use of new generation semi and fully automatic cable crimping machines that have very high annual production

capacity is becoming widespread. These machines are structures containing advanced technology mechatronic systems and control software. Quality control processes must also be accelerated parallelly with the operation of the machines at very high speeds. As a result of quality control, the processed cable is expected to meet certain standards in terms of both electrical and mechanical strength. In this study, the advantages and disadvantages that should be taken into consideration in choosing the methods were analyzed.

In fact, many global white goods and automotive manufacturers get something done one or more of these methods mandatorily the companies that purchase ready-made cables. They may also request special tests (such as high voltage withstand tests) that are not included in this study. Therefore, due to the dynamic nature of the sector, although some of the test methods mentioned in the study have lower reliability values,

their use continues, taking into account their superior aspects. With this study, it is aimed to contribute to the literature in the determining quality of terminal crimping. In the continuation of the study, applications can be made to demonstrate the effects of each method through experimental studies.

## References

- Camiresearch1. (2015). Improving Cable Quality & Reliability Resistance Measurement to Within 1mΩ. Retrieved from <https://www.camiresearch.com/Campaigns/Web-Articles/4-wire-testing.html>
- Camiresearch2. (2021). CableEye HVX System for High Voltage Cable and Harness Testing Datasheet. Retrieved from [https://www.camiresearch.com/HVX\\_Photos/hipot\\_data\\_sheet.pdf](https://www.camiresearch.com/HVX_Photos/hipot_data_sheet.pdf)
- Deveci, H. C. (2013). Proses Hata Türü ve Etkileri Analizi ve Kablo Kesim Sürecine Uygulanması. *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*.
- Elliott, B. (2007). Electromechanical devices & components illustrated sourcebook. *McGraw-Hill Education*, 151.
- Fan, L., Gao, Y., Li, Q., & Xu, H. (2012). Quality control on crimping of large diameter welding pipe. *Chinese Journal of Mechanical Engineering*, 25(6).
- Knipex. (2019). Knipex PreciForce Crimping Pliers. Retrieved from <https://www.knipex.com/products/crimping-pliers/knipex-preciforce-crimping-pliers/knipex-preciforcecrimping-pliers/975236>
- Mark-10. (2020). Wire Terminal Pull Tester Model WT3-201 Datasheet. Retrieved from <https://mark-10.com/products/wire-pull-testers/model-wt3-201/>
- Ocoleanu, C. F., & Dolan, A. I. (2018). Experimental and Statistical Study of Connector Resistance Factor Influence on Crimping Validation Process. *2018 7th International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA)*.
- Ocoleanu, C.-F., Cividjian, G., & Manolea, G. (2014). Solutions for quality pre-control of crimp contacts used in electric power systems and electrical machines. *3rd International Symposium on Environmental Friendly Energies and Applications (EFEA)*.
- Ogihara, S., Takata, K., Hattori, Y., & Yoshida, K. (2006). Mechanical Analysis of the Crimping Connection. *Proceedings of the 52nd IEEE Holm Conference on Electrical Contacts*.
- Rajak, A. K., & Kore, S. D. (2017). Experimental investigation of aluminium-copper wire crimping with electromagnetic process: Its advantages over conventional process. *Journal of Manufacturing Processes*, 26, 57–66.
- Rajak, A. K., & Kore, S. D. (2018). Comparison of different types of coil in Electromagnetic terminal - wire crimping process: Numerical and experimental analysis. *Journal of Manufacturing Processes*, 34, 329–338.
- Schleuniger1. (2019). Schleuniger CrimpCenter 36 S Fully Automatic Crimping Machine Datasheet. Retrieved from [https://www.mtntech.com/wp-content/uploads/2015/05/CC\\_36\\_S\\_DS\\_EN\\_A4\\_V8.pdf](https://www.mtntech.com/wp-content/uploads/2015/05/CC_36_S_DS_EN_A4_V8.pdf)
- Schleuniger2. (2018). Modular System for Crimp Cross-Section Analysis Datasheet. Retrieved from <https://www.schleuniger.com/en/products/quality-assurance/crimp-micrograph-analysis/micrograph-system/>
- Schmid, T. (2013). Development of a New Crimp-Quality-Monitoring System for Manually Operated Tools. *University of Limerick Ollscoil Luimnigh, Master Thesis*.
- Standard1. (2018). Standard for Wire Connectors UL 486a-486b. Retrieved from <https://standardscatalog.ul.com>
- Standard2. (2013). Standard IEC International Electrotechnical Commission, Crimped connections - General requirements, test methods and practical guidance IEC 60352-2. Retrieved from <https://www.sis.se/api/document/preview/572141/>
- TEConnectivity. (2019). Crimp Quality Guidelines. Retrieved from <https://www.te.com/content/dam/te-com/documents/application>



# Hibrit Açıklanabilir Yapay Zeka Tasarımı ve LIME Uygulaması

R.A. Selim Deliloğlu<sup>1</sup>, Ayça Çakmak Pehlivanlı<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniv., Fen-Edebiyat Fakültesi, İstatistik Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0003-1216-3918), [selimdeliloglu@yahoo.com](mailto:selimdeliloglu@yahoo.com)

<sup>2\*</sup> Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniv., Fen-Edebiyat Fakültesi, İstatistik Bölümü, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-9884-6538), [ayca.pehlivanli@msgsu.edu.tr](mailto:ayca.pehlivanli@msgsu.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 28 Haziran 2021 ve Kabul Tarihi 21 Ağustos 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.959030)

**ATIF/REFERENCE:** Deliloğlu, R. A. S. & Pehlivanlı, A.Ç. (2021). Hibrit Açıklanabilir Yapay Zeka Tasarımı ve LIME Uygulaması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (27), 228-236.

## Öz

Günümüz teknolojisinin hızlı gelişimi ile yapay zeka günlük yaşamın bir çok alanında vazgeçilmez hale gelmiştir. Özellikle yanlış karar verme maliyetinin yüksek olduğu finans, sağlık, hukuk gibi alanlarda kullanılmaya başlanmasına rağmen bu alanlardaki düzenlemeler nedeni ile kısıtlı düzeyde kullanılabilir. Bu kısıtlamanın en temel nedeni de elde edilen yüksek performanslı sonuçların açıklanabilirliklerinin düşük olmasıdır. Bu çalışma kapsamında açıklanabilirliği yüksek hibrit bir tasarım önerilmiş, finans ve sağlık alanlarından elde edilmiş farklı veri setlerine uygulanmıştır. Şeffaf, hibrit ve açıklanabilirlik olmak üzere üç temel aşamada gerçekleştirilen hibrit yaklaşımın açıklanabilirlik aşamasında yerel olarak seçilen gözlemlerin tahmininde değişkenlerin etkisini belirlemek için LIME ölçütü kullanılmış ve sonuçlar yorumlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Açıklanabilir Yapay Zeka, LIME, Karar Ağaçları, Rasgele Orman.

## Hybrid Explainable Artificial Intelligence Design and LIME Application

### Abstract

With the rapid development of today's technology, artificial intelligence has become indispensable in many areas of daily life. Although it has started to be used in the areas such as finance, health and law, where the cost of making wrong decisions is high, it can be used at a limited level due to the regulations in these areas. The main reason for this limitation is the low explainability of the high-performance results obtained. Within the scope of this study, a hybrid design with high explainability was proposed and applied to different datasets obtained from the fields of finance and health. The LIME criterion was used to determine the effect of variables on the estimation of locally selected observations in the explainability phase of the hybrid approach, which was carried out in three basic stages as transparent, hybrid and explainability, and the results were interpreted.

**Keywords:** Explainable Artificial Intelligence, LIME, Decision Trees, Random Forest.

\* Sorumlu Yazar: [ayca.pehlivanli@msgsu.edu.tr](mailto:ayca.pehlivanli@msgsu.edu.tr)

## 1. Giriş

Günümüzde kurumların yapay zekayı, operasyonel çözümlerin yerine giderek daha fazla konumlandığı ve hızla iş süreçlerine entegre ettiği görülmektedir. Kurumlar yapay zekalarını ne kadar uzun ömürlü ve sürdürülebilir inşa ederlerse zaman içerisinde rekabette farklılaşma ve öne çıkma şansları o kadar artacaktır. Uzun ömürlü ve sürdürülebilir bir yapay zekanın ön koşulları araştırıldığında sadece sistemin performansının yüksek olması değil, bunun yanında şeffaf, adaletli, hesap verilebilir olmasının da kritik düzeyde önemli olduğu görülmektedir. Bu nedenle açıklanabilir yapay zekâ (explainable artificial intelligence) kavramı ortaya çıkmıştır. Açıklanabilir yapay zeka, etkilenen tüm paydaşların sonuçları yorumlayabilmesini sağlar. Regülasyonun ve piyasa şartlarının sık değiştiği ortamlarda yapay zekanın ömrünü ve sürdürülebilirliğini uzatacak bir diğer faktörün de dış şoka dirençli algoritmalar olduğu açıktır. Bu çalışmada dış şoklara dirençli, şeffaf, adaletli ve hesap verilebilir, açıklanabilir bir yapay zekanın kurulmasına olanak sağlayacak bir algoritma önerilmiştir. Özellikle yanlış karar verme maliyetinin yüksek olduğu; “şimdi al sonra öde” (fintech) şirketlerinin ve bankaların kredi risk hesaplamalarında, güvenlik, hukuk, tıp gibi alanlarındaki uygulamalarda bu çalışmada önerilen algoritmanın kullanılması, yapay zekadan elde edilen faydayı da sürekli kılacaktır. BM Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu (WCED) sürdürülebilir kalkınmayı “gelecek nesillerin ihtiyaçlarını karşılama olanaklarını tehlikeye atmadan bugünün ihtiyaçlarını karşılayan kalkınma” şeklinde tanımlamıştır (Keeble, 1988). Bu tanım uzun ömürlü ve sürdürülebilir yapay zeka için “paydaşların gelecek dönemlerdeki ihtiyaçlarını karşılama olanaklarını tehlikeye atmadan bugünün ihtiyaçlarının karşılanması” şeklinde uyarlanabilir.

Yapay zekanın sonuçlarından etkilenen paydaşlar için katkının sürekli ve uzun ömürlü olmasını sağlayacak üç önemli özellik mevcuttur; güvenilir yapay zekâ, açıklanabilir yapay zekâ ve dış şoklara dayanıklı yapay zekâ. Bu üç özelliği içeren bir tasarım ve bu tasarımın tüm öğelerini içeren bir yaklaşım yardımıyla bir yapay zekâ geliştirmek ve uygulamak oldukça önemli bir çalışma alanı ortaya çıkarmıştır.

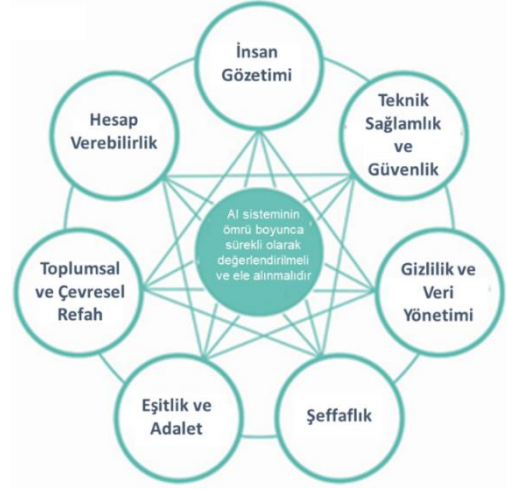
### Güvenilir Yapay Zekâ

Avrupa komisyonu yapay zekâ uzmanları tarafından 2018 yılında yayınlanan çalışmada güvenilir yapay zekâ için gerekli etik kurallar yedi maddede özetlenmiştir (High-Level Expert Group on AI (AI HLEG), 2019). Şekil 1’de verilen her bir madde eşit düzeyde önemli olup birbirini destekler ve yapay zekanın yaşam döngüsü süresince de kullanılır (High-Level Expert Group on AI (AI HLEG), 2019).

### Açıklanabilir Yapay Zeka

Son yıllarda giderek daha fazla gereksinim duyulan açıklanabilir yapay zekâ (Explainable AI ya da XAI) teknikleri, yapay zekâ sonuçlarının insanlar tarafından yorumlanmasını ve anlaşılmasını sağlayan teknikler ve yöntemler bütünü olarak nitelendirilebilir. Yapay zekanın hedefi ve uygulandığı alana göre açıklanabilir yapay zekâ gereksinimi de farklılık gösterir. Bir görselin kedi mi yoksa köpek mi olduğunun tahmin edildiği bir modeldeki açıklanabilirlik ihtiyacı düşükken, hastanın kanser olup olmadığını tahmin eden bir modeldeki açıklanabilirlik ihtiyacı oldukça yüksektir.

Açıklanabilir yapay zekâ ihtiyacı, özellikle hukuk, tıp ve finans gibi insan hayatını etkileyen alanlarda, kararları sadece kara kutu (blackbox) diyebileceğimiz açıklanamayan algoritmalara delege etmenin doğurduğu kritik operasyonel risklerden ortaya çıkmıştır (Malioutov et al., 2017)



Şekil 1. Güvenilir yapay zeka için etik kurallar. (High-Level Expert Group on AI (AI HLEG), 2019)

Bu risklerin gerçekleştiği bazı örnek durumlar Guidotti ve ark. tarafından 2018 yılında yayınlanan makalede özetlenmiştir (Guidotti et al., 2018);

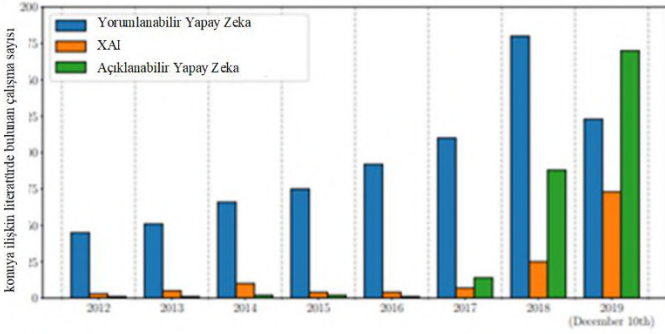
- ABD’de serbest bırakılmadan önce hangi suçlunun daha tehlikeli olduğu tahmini uzun süredir yapılmaktadır. 1970’lere kadar ırk, milliyet ve renk üzerinden yapılan bu ayrımlar politik olarak kabul edilemez bulundu ve bu tutumdan vazgeçildi. Ancak suçluların tekrar suç işleme eğilimini tahmin eden modellerin ırk, milliyet ve renk üzerinden adaletsiz skorlar verdiği ve bu skorların kamu otoritelerince kullanıldığı görülüyor. ProPublica’da yayınlanan bir makalede gerçekte riskin çok düşük olduğu durumlarda dahi siyahların beyazlara göre daha riskli olarak skorlanabildiği belirtilmiş ve bu skorlar baz alınarak haksız uygulamaların yapıldığına yönelik örnekler verilmiştir (Kirchner et al., 2016).
- Bloomberg’in 2016 senesinde yayınlanan bir raporuna göre Amazon’un ABD’nin büyük şehirlerindeki özel müşterilerine sunduğu aynı gün teslimat hizmetinin, siyah mahalleleri hariç tuttuğu görülmüştür. Amazon konuya ilişkin şöyle bir açıklama yapmıştır; “aynı gün nereye teslim edebileceğimizi belirleyen bir dizi faktör var. Bunlar, en yakın yerine getirme merkezine olan mesafeyi, bir bölgedeki yerel talebi, bir bölgedeki özel müşteri sayısını ve ulaştırmadaki ortaklarımızın pazar günleri dahi her gün saat 9:00’a kadar teslimat yapma kabiliyetlerini içerir.” Dijital Business Insider sistemi bu yorumu, “özetle kararı veri veriyor” şeklinde değerlendirmiştir (Ingold & Spencer, 2016).
- 2002 senesinde “Consumer Federation of America”nın yayınladığı raporda, tüketicileri skorlayan üç firmanın (Experian, Trans Union ve Equifax) skorları karşılaştırılmış ve tüketicilerin %31’ine ait skorların 50 puandan fazla farklılaştığı tespit edilmiştir. Sonuçlar karşılaştırıldığında üç sistemin aynı tüketicileri birbirinden çok farklı ve yanlış skorladığı sonucu çıkmaktadır (Credit Score Accuracy and Implications for Consumers, 2002).



- Freitas'ın 2014 yılında yazdığı makalede de dost ve düşman tankları birbirinden ayıran bir modelin, geliştirme ve test aşamasında çok başarılı olduğu halde uygulamada çok kötü performans gösterdiği bir çalışmadan bahseder. Kötü performansının kök nedeni araştırıldığında düşman tankların fotoğrafının bulutlu günlerde, dost tanklarının fotoğraflarının ise güneşli günlerde çekildiği fark edilir.

Bütün bu örnekler, yapay zekanın bir sihir olmadığını, yapay zekâ projelerinin risklerin öngörüldüğü, sonuçların değerlendirildiği ve yorumlandığı bir süreç olduğunu göstermektedir (Freitas, 2014).

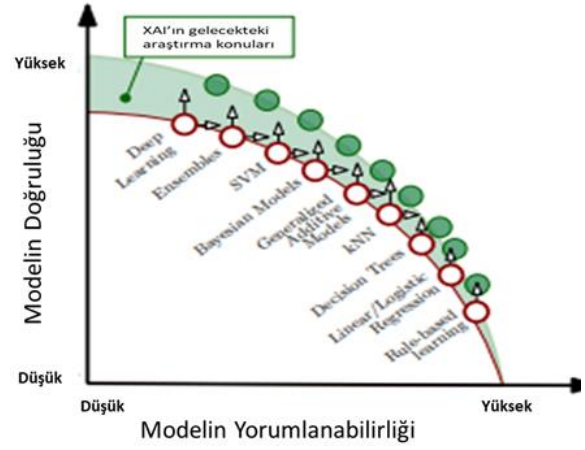
Arrieta ve ark. 2019 yılında yayınladıkları çalışmalarında Scopus R veri tabanındaki makalelerin başlık, özet ve anahtar kelimelerini analiz etmiş, açıklanabilir yapay zeka kavramlarının geçtiği yayın sayılarındaki gelişimi incelemiştir (Barredo Arrieta et al., 2020). Şekil 2'de verilen grafikte açıklanabilir yapay zekâ konusunda yayımlanan makalelerin son yıllarda hızla arttığı açıkça görülmektedir. Bu durumda yapay zekanın kullanımı yaygınlaştıkça açıklanabilir yapay zekaya olan ihtiyacın da giderek arttığı sonucu çıkartılabilir. Ayrıca yorumlanabilir yapay zekâ yayını sayısı 2019 senesinde azalırken açıklanabilir yapay zekâ kavramlarında kritik seviyede artış gözlenmektedir (Barredo Arrieta et al., 2020).



Şekil 2. Açıklanabilir yapay zeka kavramının geçtiği çalışmaların dağılımı (Barredo Arrieta et al., 2020)

Açıklanabilir yapay zeka performans açısından incelendiğinde genel olarak modellerin performansı arttıkça açıklanabilirliğinin düştüğü söylenebilir. Algoritmaların açıklanabilirliğiyle performansı arasındaki ilişkiyi özetleyen bir grafik Şekil 3'te verilmiştir. Kural bazlı sistemler genellikle performansı düşükken açıklanabilirliği en yüksek modellerdir. Derin öğrenme (deep learning) modelleri ise performansı yüksek olmasına karşın yorumlanması en zor modellerdir. Açıklanabilirlik problemi çözüldükçe performansı yüksek modellerin kullanım alanları da genişleyecektir. Bu nedenle açıklanabilir yapay zekânın gelecekteki araştırmalara giderek daha fazla konu olma potansiyeli çok yüksektir.

Yorumlanabilirlikle performans arasındaki ilişkiyi grafikte verildiği şekilde genellemenin doğru olmadığı yönünde görüşler de vardır. Rudin çalışmasında, bazı durumlarda karmaşık modellerinin performansının düşük olabileceğini, bu nedenle de ilk aşamada yorumlanabilir basit modellerin tercih edilmesi gerektiğini belirtmiştir. Basit bir model tercih edebileceksen yerine yorumlanması zor bir modelin tercih edilmesinin ilgili çalışma alanları bakımından ciddi zararlar verebileceğine de değinmiştir (Rudin, 2019).



Şekil 3. Modelin yorumlanabilirliği ile algoritmaların performansı arasındaki ilişki (Barredo Arrieta et al., 2020)

### Açıklanabilir Yapay Zeka Teknikleri

Açıklanabilir Yapay Zeka (XAI) yeni bir alan olduğu için literatürde standart ve net bir terminolojisi de henüz tam anlamıyla oluşmamıştır. Guidotti ve ark.'nın 2018'de yayınladıkları makaledeki terminoloji baz alındığında, açıklanabilir yapay zeka tekniklerinin iki ana grupta toplandığı söylenebilir: tersine mühendislik (reverse engineering) ve şeffaf model tasarımı (transparent model design).

Tersine mühendislik de kendi içerisinde üç gruba ayrılır: modelin açıklaması (model explanation), çıktının açıklaması (outcome explanation) ve model denetlemesi (model inspection). Her bir teknik kendi içerisinde yapay zekayı açıklamaya yönelik farklı araç ve yaklaşımlar içerir (Guidotti et al., 2018).

- Taklit model, model açıklama grubundaki yaklaşımlardan olup, açıklanamayan kara kutu modelini taklit eden yorumlanabilir bir model bulmayı amaçlamaktadır. Sinir ağının kararlarını taklit eden bir karar ağacı örnek olarak verilebilir.

- Çıktı açıklama grubundaki yaklaşımlarda, tahminlerin kayıt düzeyinde adlandırılması hedeflenmektedir. 2016 yılında Ribeiro ve ark. tarafından önerilen aLIME yöntemi, tahmin değerlerini anlamak ve uygulamak için genellikle düşük çaba gerektiren eğer-ise (if-then) kurallarını tercih eder (Ribeiro et al., 2016a).

- Model denetleme grubundaki yaklaşımlarda ise, modelin tahminleri metin ya da görsel teknikler kullanılarak görüntülenir ve modelin bazı özelliklerinin bu şekilde anlaşılması/açıklanması hedeflenir.

Şeffaf model tasarımı ise doğrudan yorumlanabilen şeffaf bir model hedefler. Kural bazlı modeller ya da karar ağaçları modelleri yorumlanabilen şeffaf modellerdir (Guidotti et al., 2018).

### Dış Şoklara Dayanıklı Yapay Zekâ

Gambacorta ve ark. 2019 yılında yayınladıkları çalışmalarında, Çin'in önde gelen bir fintek şirketlerinin verilerini analiz ederek geleneksel modelleme yöntemleriyle makine öğrenmesi yöntemlerini karşılaştırmışlardır (Gambacorta et al., 2019). Karşılaştırma sonucunda, normal zamanlarda birbirine yakın performans gösteren iki modelin performansının dış şok sonrasında farklılaştığını gözlemlemiştir. Model performanslarındaki farklılığın kök nedeninin makine öğrenmesi algoritmasının doğrusal olmayan ilişkileri daha iyi yakalaması olduğu sonucuna varmışlardır.

Bu örnekten de görüldüğü üzere bazı durumlarda modelin sadece geliştirildiği dönemdeki koşulları açıklaması yanıltıcı olabilmektedir. Özellikle yanlış karar verme maliyetlerinin yüksek olduğu durumlarda regülasyonun değişmesi, piyasa koşullarının değişmesi gibi dış şoklar karşısında modelin nasıl davranacağı da kritik bir konudur. Çin'deki örneğe benzer şekilde eğer veri seti içerisinde modelin dış şok karşısındaki tepkisini gözlemleyecek bir veri yoksa, açıklanabilir yapay zekâ tekniklerinin de yardımıyla olası bir dış şok senaryosuna karşı modelin vereceği tepkinin öngörülmesi önerilir.

Bu çalışmada temel amaç, güvenilir, açıklanabilir ve dış şoklara dayanıklı yapay zekâ öğelerini içeren bir yaklaşım yardımıyla açıklanabilir bir yapay zeka tasarımı önermek ve çeşitli veri setleri üzerine uygulayarak kara kutu yöntemleri ile karşılaştırmaktır. Ayrıca, çok yeni ve hızla yaygınlaşan açıklanabilir yapay zeka kavram ve terminolojisine ilişkin kaynak oluşturarak ulusal literatüre katkıda bulunmak amaçlanmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

Çalışma şeffaf model, hibrit model ve açıklanabilirlik olmak üzere üç temel aşamada gerçekleştirilmiştir. Şeffaf model aşamasında açıklanabilirliği yüksek yöntemler kullanılırken, hibrit model aşamasında performansı yüksek ancak açıklanabilirliği düşük kara kutu modelleri ve açıklanabilirlik aşamasında ise LIME kullanılmıştır. Bu çalışma kapsamında şeffaf model için karar ağaçları ve kara kutu model için ise rasgele orman algoritmaları tercih edilmiştir. Denetimli öğrenme yöntemlerinden olan karar ağaçları tümevarım yaklaşımı ile sınıflama yapan yorumlanabilirlik ve anlaşılabilirlik açısından oldukça yaygın kullanılan bir algoritmalar. Genel olarak, bir çok karar ağacından gelen sonuçları birleştirerek sınıflama yapan rasgele orman algoritması ise ilk defa 2001 yılında Leo Breiman tarafından ortaya konmuştur (Breiman, 2001). Tek bir karar ağacına karşılık çok sayıda karar ağacına sahip olması nedeni ile karmaşık ve yorumlanabilirliği güç bir algoritmadır.

## 2.1. LIME (Local Interpretable Model-agnostic Explanations)

LIME, genel olarak herhangi bir makine öğrenme algoritmasına uygulanabilen ve model tahminlerini yorumlanabilir bir modele yaklaşılarak modelin açıklanabilmesi için önerilen görsel bir tekniktir (Ribeiro et al., 2016b). “Her karmaşık model yerel (local) ölçekte doğrusaldır” varsayımına dayanan bu yaklaşımın temel çalışma prensibi, veri setindeki gözlemlere benzer özellikte yeni gözlemler türetip, açıklayıcı değişkenlerin tahmin üzerindeki etkilerinin ve önem derecelerinin ortaya konması şeklinde özetlenebilir.

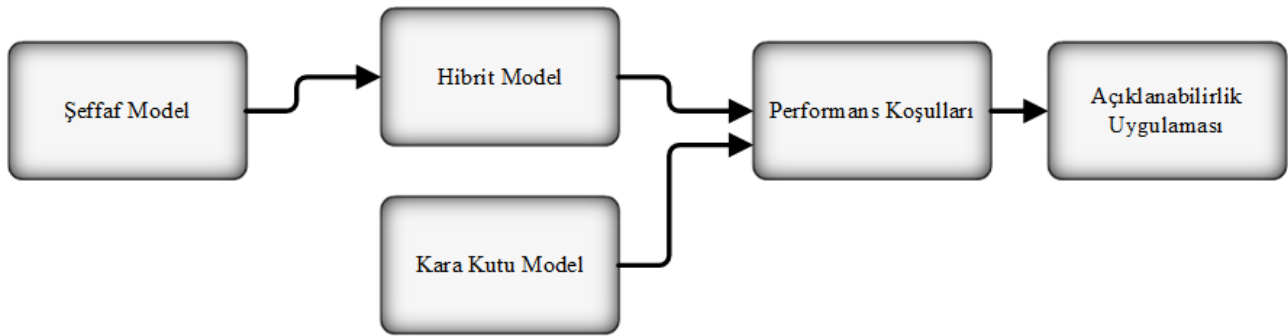
LIME algoritması genel olarak sayısal değişkenlerin kategorize edilmesi, veri setinin dağılımına benzer yeni gözlemlerin elde edilmesi ve elde edilen bu veri seti üzerinden açıklanabilir bir model geliştirerek değişkenlerin gözlem üzerindeki etkilerinin belirlenmesi aşamalarını takip eder (Garreau & von Luxburg, 2020).

LIME çıktısı, açıklayıcı değişkenlerin seçilen gözlemlerin tahminine katkısını özetler ve tahmin üzerinde en fazla etkiye sahip olan açıklayıcı değişkenlerin bulunabilmesine olanak sağlar.

## 2.2. Açıklanabilir Yapay Zeka Tasarımı (Hibrit Tasarım)

Bu çalışma kapsamında, çalışmanın temel amacında da belirtildiği üzere açıklanabilir bir yapay zeka tasarımı önerilmiştir. Bu tasarım genel olarak şeffaf algoritmalar ile kara kutu algoritmalar arasında seçim yapmak zorunda kalan uygulayıcılara yarı şeffaf, performansı yüksek hibrit model öneren esnek bir çerçeve olarak düşünülebilir.

Önerilen hibrit modelin temel prensibi toplam bilginin mümkün olabildiği kadar açıklanabilir yapay zekâ teknikleri olarak belirtilen şeffaf algoritmalarla, geri kalan açıklanamayan bilginin ise performansı yüksek kara kutu algoritmalarla açıklanmasıdır.



Şekil 4. Açıklanabilir yapay zeka için önerilen hibrit tasarım akışı

Çalışmada önerilen açıklanabilirliği yüksek hibrit modelin elde edilmesi için Şekil 4'te verilen genel şemadaki adımların uygulaması Algoritma 1'de verildiği gibidir. (Algoritma mizanpaj nedeni ile bir sonraki sayfada verilmiştir.)

## 3. Uygulama

Bu çalışma kapsamında önerilen algoritma, herkese açık UCI veri deposundan elde edilen veri setleri kullanılarak sınanmıştır (Dua & Graff, 2019). Seçilen tüm veri setleri için, bu çalışma

kapsamında önerilen hibrit algoritma adımları sırasıyla şeffaf model için karar ağacı, hibrit ve kara kutu aşamaları için ise rastgele orman (random forest) algoritması seçilerek uygulanmıştır. İlk üç adım sonucu elde edilen sonuçlar doğrultusunda Adım 4'te verilen üç koşulun geçerliliği her veri seti için kendi içinde kontrol edilmiştir.

**Algoritma 1.** Açıklanabilir yapay zeka için önerilen hibrit tasarım

Eğitim veri seti  $D_{mxd} : \{x(i), y(i); i = 1, 2, 3, \dots, m\}$  ve  $x(i) = [x_1(i), x_2(i), \dots, x_d(i)]^T$

Geçerlilik veri seti  $G_{pxd} : \{x(i), y(i); i = 1, 2, 3, \dots, p\}$  ve  $x(i) = [x_1(i), x_2(i), \dots, x_d(i)]^T$

$f(\cdot)$  : açıklanabilirliği yüksek algoritma (lojistik regresyon, kural tabanlı, karar ağacı, ...)

$g(\cdot)$  : kara kutu algoritması (derin öğrenme, rasgele orman, ...)

$y_k$  :  $k$ . adımda eğitim sonucu elde edilen çıktı

$y_k^G$  :  $k$ . adımda geçerlilik sonucu elde edilen çıktı

$P_k$  :  $k$ . adımda eğitim veri seti ile elde edilen modelin geçerlilik veri seti üzerindeki performansı (başarı, F1 skoru, AUC, ...)

**Adım 1. Şeffaf Model**

Eğitim veri seti üzerine açıklanabilirliği yüksek bir algoritma uygulanır ve model çıktısı ( $y_1$ ) ve modelin geçerlilik veri seti ile performansı ( $P_1$ ) elde edilir.

$$y_1 = f(D_{mxd})$$

$$P_1 = f(G_{pxd})$$

**Adım 2. Hibrit Model**

Şeffaf modelin uygulanmasıyla Adım 1'in sonunda oluşan şeffaf model çıktısı  $y_1$  yeni bir açıklayıcı değişken olarak veri setine eklenir.

$$D_{yeni} = D_{mx(d+1)} : \{x(i), y(i); i = 1, 2, 3, \dots, m\}$$
 ve  $x(i) = [x_1(i), x_2(i), \dots, x_d(i), y_1]^T$

Yeni veri seti üzerine performansı yüksek bir kara kutu algoritması uygulanır ve model çıktısı ( $y_2$ ) ve modelin geçerlilik veri seti ile performansı ( $P_2$ ) elde edilir.

$$y_2 = g(D_{yeni})$$

$$G_{yeni} = G_{px(d+1)} : \{x(i), y(i); i = 1, 2, 3, \dots, p\}$$
 ve  $x(i) = [x_1(i), x_2(i), \dots, x_d(i), y_1^G]^T$

$$P_2 = g(G_{yeni})$$

**Adım 3. Kara kutu Model**

Eğitim veri seti üzerine Adım 2'de kullanılan  $g(\cdot)$  algoritması uygulanır ve model çıktısı ( $y_3$ ) ve modelin geçerlilik veri seti ile performansı ( $P_3$ ) elde edilir.

$$y_3 = g(D_{mxd})$$

$$P_3 = g(G_{pxd})$$

**Adım 4. Performans Koşulları**

İlk üç adım sonuçlarının aşağıdaki koşulları sağlayıp sağlamadığı kontrol edilir.

**Koşul 1.**  $P_1 < P_2 < P_3$  eşitsizliğinin geçerli olma koşulu

**Koşul 2.**  $P_2 \cong P_3$  olma koşulu

**Koşul 3.** Şeffaf model sonucu elde edilen ve hibrit model için girdi olarak eklenen  $y_1$  hibrit modeli yani  $y_2$ 'yi açıklamada en önemli değişken olmalıdır.

Bu koşulların en az birinin gerçekleşmemesi durumunda Adım 1'e tekrar geri dönülür.

Çalışmanın uygulaması Taiwan'da bir bankaya ait kredi kartı verisi üzerinden ayrıntılı olarak açıklanmış, diğer veriler tablo halinde özet olarak verilmiştir. Taiwan veri seti 23 açıklayıcı değişkenden ve bir hedef değişkenden oluşan 30000 gözleme

sahiptir (Yeh & Lien, 2009). Veri setinde kredi kartı borcunu ödeyen müşteriler 1, ödemeyen müşteriler 0 olarak etiketlenmiş olup sınıf dağılımı sırasıyla %78 ve %22 şeklindedir. Veri setinde bulunan 23 değişkene ait ayrıntılar Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Kredi kartı verisi değişken listesi

Değişken sıralaması	Değişken	Açıklama	Veri Tipi	Aldığı Değerler
X1	LIMIT_BAL	Müşterinin toplam kullandığı kredi miktarı	Sayısal	Min: 10 <sup>4</sup> -Max:10 <sup>6</sup>
X2	SEX	Cinsiyet	Kategorik	Erkek: 1, Kadın: 2
X3	EDUCATION	Eğitim	Kategorik	İlk/Orta/Lise: 1, Üniversite: 2, Yüksek okul: 3, Diğer: 4
X4	MARRIAGE	Medeni Durum	Kategorik	Evli: 1, Bekar: 2, Diğer: 3
X5	AGE	Müşterinin Yaşı (Yıl)	Sayısal	
X6 - X11	PAY_0- PAY_6	Geçmiş dönem ödeme durumu {PAY_i, i = Eylül 2005(0), Ağustos 2005(2), ... , Nisan 2005(6)}	Sayısal	Zamanında ödeme : -1 Gecikmeli ödeme (ay): 1,2, ..., 8, 9
X12-X17	BILL_AMT1- BILL_AMT6	Fatura tutarı (Dolar) {BILL_AMT_i, i = Eylül 2005(1), Ağustos 2005(2), ..., Nisan 2005(6)}	Sayısal	Min : -339603 Max: 1664089
X18-X23	PAY_AMT_1- PAY_AMT_6	Geçmiş dönem ödeme miktarı (Dolar) {PAY_AMT_i, i = Eylül 2005(1), Ağustos 2005(2), ..., Nisan 2005(6)}	Sayısal	Min :0 Max: 1684259

Veri seti içerisindeki 5000 gözlem geçerlilik için ayrılmış, kalan 25000 gözlemin de %60'ı eğitim (model geliştirme) ve %40'ı sınama amacıyla kullanılmıştır. Taiwan kredi kartı verisi için elde edilen model performansları Tablo 2'de F1 skoru, AUC ve GINI metrikleri ile verilmiştir. Algoritma 1'in performansına

ilişkin son aşamasında verilen koşullar değerlendirildiğinde Koşul 1 ve Koşul 2'nin geçerlilik veri seti üzerinde sağlandığı görülmüştür.

Tablo 2. Model performanslarının karşılaştırılması

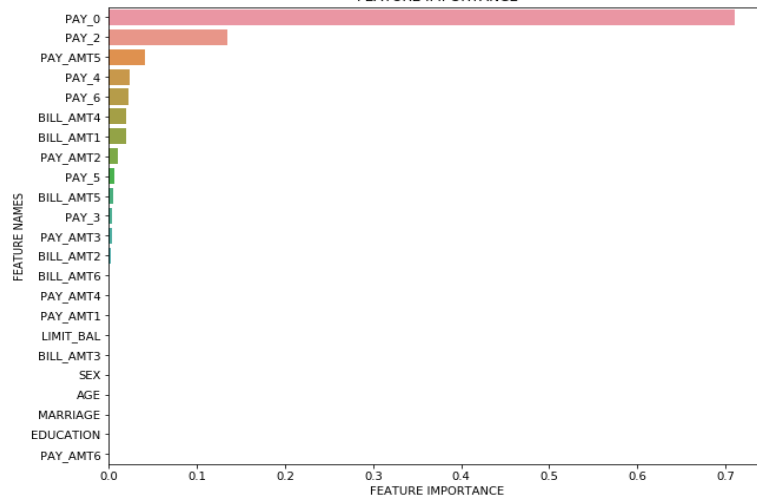
Model	F1 Skoru	AUC	GINI
Şeffaf Model (Karar Ağacı )	79.89%	74.4%	48.9%
Hibrit Model (Karar Ağacı ve Rastgele Orman)	80.2%	77.1%	54.2%
Kara Kutu (Rastgele Orman)	80.3%	77.4%	54.8%

√ **Koşul 1.** Şeffaf model performansı < Hibrit model performansı < Kara kutu model performansı

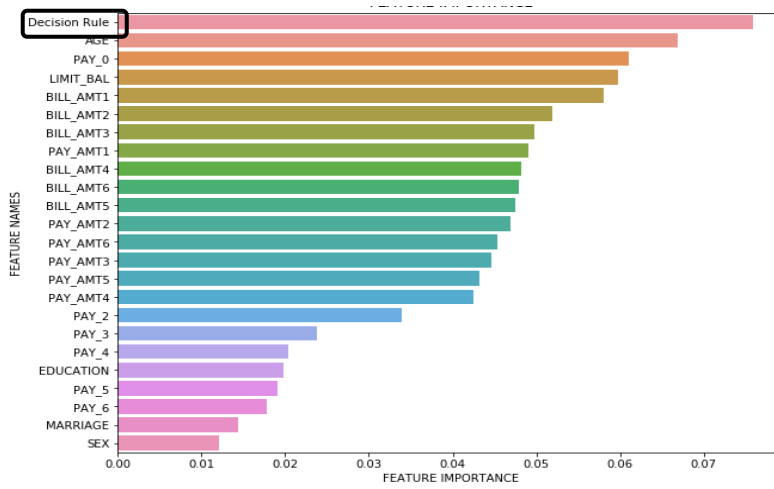
√ **Koşul 2.** Hibrit model performansı  $\cong$  Kara kutu model performansı

Koşul 3'ün geçerliliğinin kontrolü ise değişken önem düzeyleri incelemesi ve LIME olmak üzere iki aşamada gerçekleştirilmiştir;

i) Şekil 5a'da verilen şeffaf model aşamasına ilişkin değişken önem sıralaması incelendiğinde ortaya çıkan modelin oldukça basit ve anlaşılır olduğu gözlemlenebilir. Bu model ile elde edilen ve Tablo 2'de verilen F1 Skoru %79.89 bulunmuştur. Adım 1 sonunda elde edilen bu modelin çıktısı Decision Rule değişkeni olarak adlandırılarak, Adım 2'de belirtildiği gibi hibrit modele yeni bir girdi olarak eklenmiş ve Şekil 5b'de verilen önem düzeylerine göre hibrit modeli açıklamada en önemli değişken olarak bulunmuştur.



Şekil 5a. Şeffaf modele ilişkin değişkenlerin önem düzeyi



Şekil 5b. Hibrit modele ilişkin değişkenlerin önem düzeyi

ii) Geçerlilik veri setinden rasgele 100 adet örneklem seçilmiş ve LIME algoritması uygulanarak her bir gözlemden hibrit model skorunu etkileyen ilk üç değişken araştırılmıştır. Tablo 3'te verildiği üzere Decision Rule değişkenini 100 gözlemin 94'ünde en önemli ilk üç değişken arasına girdiği gözlenmiştir.

√ **Koşul 3.** Decision Rule değişkeni, hem hibrit modelin kullandığı ve Tablo 2'de verilen rasgele orman algoritması sonuçlarına, hem de geçerlilik veri seti üzerinde uygulanan ve Tablo 3'te verilen LIME algoritması sonuçlarına dayanarak hibrit modeli açıklamada en önemli ilk üç değişkenden biri olarak bulunmuştur.

Tablo 3- Değişkenlerin model skorunu etkileyen ilk üç önemli değişken arasına girme frekansı

	Değişken önem düzeyleri			Toplam
	1. Derece	2. Derece	3. Derece	
DECISION RULE	39	36	19	<b>94</b>
LIMIT_BAL	38	19	21	<b>78</b>
PAY_0	19	31	20	<b>70</b>
PAY_AMT2	3	6	15	<b>24</b>
PAY_AMT1		3	12	<b>15</b>
PAY_5	1	3	1	<b>5</b>
Diğer	0	2	12	14
<b>Toplam</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	

Uygulama bölümünün başında da belirtildiği üzere, çalışma kapsamında Taiwan verisine ek olarak UCI veri deposundan elde edilen ve ayrıntıları Tablo 4'te verilen başka veri setleri de

kullanılmıştır. Taiwan veri seti için uygulanan adımlar Tablo 4'de verilen veri setleri için de uygulanmış ve elde edilen hibrit modelin Adım 4'de verilen koşullara uygunluğu test edilmiştir.

Tablo 4-Hibrit modelin uygulandığı veri setleri

Veri Seti	Değişken Sayısı	Gözlem Sayısı	Bağımlı Değişken - Sınıf dağılımı
Breast Cancer Wisconsin(Wolberg & Mangasariant, 1990)	11	699	Tümör: İyi huylu (458) / Kötü huylu (241)
Statlog (Heart) (Dua & Graff, 2019)	13	270	Kalp hastalığı: Var (120) / Yok (150)
Credit Approval (Dua & Graff, 2019)	15	690	Kredi: Kabul (307) / Red (383)

Algoritma 1'de verilen Adım1, Adım2 ve Adım3 sırası ile Tablo 4'de verilen veri setlerine uygulanmıştır. İlk üç adım sonucunda elde edilen ve Tablo 5'te verilen sonuçlara göre kara kutu modeli tüm veri setlerinde en yüksek performansa, şeffaf model ise en düşük performansa sahiptir. Adım 4'te belirtilen koşullardan Koşul 1 ve Koşul 2 hibrit model performansının kara kutu model performansına yakın olması nedeniyle her bir veri seti

ile elde edilen modellerde karşılanmıştır. Koşul 3 incelemesi Taiwan veri setine benzer şekilde her bir veri seti için gerçekleştirilmiş ve elde edilen tüm modellerde Decision Rule değişkeninin en önemli değişken olması nedeniyle hibrit modellerde Koşul 3 de sağlanmıştır. Tablo 5, tüm sonuçları bütün olarak görebilmek adına Taiwan verisine ilişkin sonuçları da özet olarak içermektedir.

Tablo5- Modellerin Gini metriği ile karşılaştırması ve değişkenlerin önem seviyesi

	Gini			Şeffaf Modelin Önem Düzeyi	
	Şeffaf Model (Karar Ağacı )	Hibrit Model (Karar Ağacı ve RF)	Kara Kutu (RF)	Hibrit Model*	LIME**
Taiwan (kredi kart müşterileri)	48.9%	54.2%	54.8%	1	1
Breast Cancer Wisconsin	95.4%	98.3%	98.5%	1	2
Statlog (Heart)	68.9%	74.7%	73.9%	1	3
Credit Approval	89.7%	93.8%	94.8%	1	1

\* Şeffaf model skor açıklayıcı değişkeninin hibrit model içerisindeki önem sırası

\*\* Geçerlilik veri setinden seçilen 100 adet örnekle üzerinden LIME algoritması ile elde edilen açıklayıcı değişkenlerin her bir gözlemdaki ilk üç değişken arasına girme sayılarına ilişkin önem sırası

## 4. Sonuç ve Tartışma

Makale kapsamında önerilen hibrit yaklaşım şeffaf model ve kara kutu modelin birleşiminden oluşur. Yapay zeka büyük bir bina olarak düşünüldüğünde şeffaf model de hibrit modelin kolonları olarak kabul edilebilir. Şeffaf modeldeki değişken sayısının az tutulması, modele sezgisel olarak anlamlı ve dış etkenlere dayanıklı değişkenlerin seçilmesi kolonların kuvvetlenmesini, yapay zekanın da hem uzun ömürlü olmasını hem de dış etkenlerden en az düzeyde etkilenmesini sağlar. Hibrit modelin kara kutu model bileşeni ise performansın yüksek kılınmasını ve şeffaf modelin kullanmadığı değişkenlerin modelde kullanılmasını sağlar.

Yapay zekaya dayalı sistemler giderek daha fazla günlük hayatımızın bir parçası olurken, zaman içerisinde bozulmaları ve onarılmaya gereksinim duymaları nedeni ile de hayatımızı olumsuz etkileme riskleri artmaktadır. Bu nedenle özellikle yanlış karar verme maliyetinin yüksek olduğu güvenlik, sağlık, finans ve hukuk gibi alanlarda bu riskin azaltılması daha da önem

kazanmaktır. Sistemde bir bozulma olduğu zaman kök nedenin hızlı ve doğru şekilde bulunmasını kolaylaştıracağı için kara kutu model yerine makalede önerilen hibrit model ve/ya benzer yaklaşımların kullanılması sistemin sürdürülebilirliğini ve tutarlılığını koruyabileceği gibi elde edilen sonuçların açıklanabilir ve şeffaf olmasını da sağlayabilir.

Yapay zekanın sürdürülebilirliğini sağlayan bir diğer önemli özellik de sistemin kendi kendine öğrenebilmesi ve gerektiği durumlarda tıpkı insan zekasında olduğu gibi geri bildirimlere açık olmasıdır. Hibrit modelin kara kutu bileşeni kendi kendine öğrenmeyi sağlarken, şeffaf model bileşeni eğer-ise yapıyla kurgulandığında geri bildirimleri de kural setine yansıtacaktır.

Bu çalışmada önerilen modele ilişkin geliştirilmesi gereken noktalardan biri şeffaf modelin performansının hibrit modelin açıklanabilirliğini ve performansını etkileme riskidir. Bu riskin Adım 4'te verilen koşulların sağlanmasıyla en aza indirgenmesi hedeflenmiştir. Ayrıca daha sonraki çalışmalarda LIME ölçütüne ek olarak kullanılacak diğer ölçütler de çeşitli sektörlerden elde edilen veriler üzerinde hem teorik hem de uygulamalı olarak

incelenecektir. Özellikle bankacılık ve sağlık alanlarındaki regülasyonlar nedeni ile performansı yüksek ancak açıklanabilirliği düşük kara kutu modellerinin kısıtlı kullanımı açıklanabilir yapay zeka yaklaşımları ile başka bir boyut kazanabilecektir.

## **Kaynakça**

- Barredo Arrieta, A., Díaz-Rodríguez, N., Del Ser, J., Bennetot, A., Tabik, S., Barbado, A., Garcia, S., Gil-Lopez, S., Molina, D., Benjamins, R., Chatila, R., & Herrera, F. (2020). Explainable Explainable Artificial Intelligence (XAI): Concepts, taxonomies, opportunities and challenges toward responsible AI. *Information Fusion*, 58, 82–115. <https://doi.org/10.1016/j.inffus.2019.12.012>
- Breiman, L. (2001). Random Forests. *Machine Learning*, 45, 5–32. <https://doi.org/https://doi.org/10.1023/A:1010933404324>
- Credit Score Accuracy and Implications for Consumers. (2002).
- Dua, D., & Graff, C. (2019). UCI Machine Learning Repository. <http://archive.ics.uci.edu/ml>
- Freitas, A. A. (2014). Comprehensible classification models. *ACM SIGKDD Explorations Newsletter*, 15(1), 1–10. <https://doi.org/10.1145/2594473.2594475>
- Gambacorta, L., Huang, Y., Qiu, H., & Wang, J. (2019). How do machine learning and non-traditional data effect credit scoring? New evidence from Chinese fintech firm (Issue 834).
- Garreau, D., & von Luxburg, U. (2020). Looking Deeper into Tabular LIME. <http://arxiv.org/abs/2008.11092>
- Guidotti, R., Monreale, A., Ruggieri, S., Turini, F., Giannotti, F., & Pedreschi, D. (2018). A survey of methods for explaining black box models. *ACM Computing Surveys*, 51(5), 1–45. <https://doi.org/10.1145/3236009>
- High-Level Expert Group on AI (AI HLEG). (2019). Ethics Guidelines for Trustworthy AI. In Ethics Guidelines for Trustworthy AI. Independent High-Level Expert Group on Artificial Intelligence Set up by the European Commission - Ethics Guidelines for Trustworthy AI. <https://www.aepd.es/sites/default/files/2019-12/ai-ethics-guidelines.pdf>
- Ingold, D., & Spencer, S. (2016). Amazon Doesn't Consider the Race of Its Customers. Should It? <https://www.bloomberg.com/graphics/2016-amazon-same-day/>
- Keeble, B. R. (1988). The Brundtland Report: "Our Common Future." In *Medicine and War* (Vol. 4, Issue 1, pp. 17–25). <https://doi.org/10.1080/07488008808408783>
- Kirchner, L., Mattu, S., Larson, J., & Angwin, J. (2016). Machine Bias. *ProPublica*, 1–26. <https://www.propublica.org/article/machine-bias-risk-assessments-in-criminal-sentencing>
- Malioutov, D. M., Varshney, K. R., Emad, A., & Dash, S. (2017). Learning Interpretable Classification Rules with Boolean Compressed Sensing. 95–121. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-54024-5\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-319-54024-5_5)
- Ribeiro, M. T., Singh, S., & Guestrin, C. (2016a). Nothing Else Matters: Model-Agnostic Explanations by Identifying Prediction Invariance. 30th Conference on Neural Information Processing Systems (NIPS2016). <http://arxiv.org/abs/1611.05817>
- Ribeiro, M. T., Singh, S., & Guestrin, C. (2016b). "Why Should I Trust You?" Explaining the Predictions of Any Classifier Marco. Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining (KDD 2016). Association for Computing Machinery, 13-17-Augu, 1135–1144. <https://doi.org/10.1145/2939672.2939778>
- Rudin, C. (2019). Stop explaining black box machine learning models for high stakes decisions and use interpretable models instead. *Nature Machine Intelligence*, 1(5), 206–215. <https://doi.org/10.1038/s42256-019-0048-x>
- Wolberg, W. H., & Mangasarian, O. L. (1990). Multisurface method of pattern separation for medical diagnosis applied to breast cytology (linear programming/pattern recognition/expert systems/cancer diagnosis). In *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* (Vol. 87).
- Yeh, I.-C., & Lien, C. (2009). The comparisons of data mining techniques for the predictive accuracy of probability of default of credit card clients. *Expert Systems with Applications*, 36(2), 2473–2480. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2007.12.020>



# Çevresel Etki Değerlendirmesi Uygulamalarında Enerji Sektörü Analizi

Hakan Ceylan<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO, İnşaat Bölümü, Isparta, Türkiye. (ORCID: 0000-0001-8099-9819), [hakanceylan@isparta.edu.tr](mailto:hakanceylan@isparta.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 14 Haziran 2021 ve Kabul Tarihi 28 Ağustos 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.952538)

**ATIF/REFERENCE:** Ceylan, H., (2021). Çevresel Etki Değerlendirmesi Uygulamalarında Enerji Sektörü Analizi, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (27), 237-242.

## Öz

Ülkelerin gelişmişlik düzeyinde belirleyici olan enerji yatırımları, ekonomik, siyasal ve çevresel etkileri ile gündemdedir. Özellikle küresel boyutta çevre kirliliklerin arttığı günümüzde enerji üretiminde, fosil yakıtlar yerine yenilenebilir kaynaklara yöneliş zorunlu hale gelmektedir. Son yıllarda ülkemizdeki enerji yatırımları ile ilgili değişiklikler ve çeşitlilikler olduğu gözlemlenmektedir. Çalışma kapsamında Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın 1993-2020 yılları arasındaki Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED) kararlarından, enerji yatırımlarının durumu araştırılmıştır. Elde edilen verilere göre 6310 ÇED başvurusu içerisinde 1346'sının enerji yatırımları ile ilgili olduğu ve oran olarak %21'e tekabül ettiği tespit edilmiştir. Enerji yatırımları arasında ise yenilenebilir enerji kaynakları olarak hidro-elektrik santrallerin ilk sırada yer aldığı daha sonra rüzgar enerji santrallerinin ve güneş enerji santrallerinin yer aldığı belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** ÇED, ÇED başvuruları, enerji yatırımları.

## The Analysis of Energy Sector in Environmental Impact Assessment Practices

### Abstract

Energy investments, which are determinant in the development level of countries, are on the agenda with their economic, political and environmental effects. Especially in today's world, where environmental pollution is increasing on a global scale, it becomes necessary to turn to renewable resources instead of fossil fuels in energy production. In our country changes and diversities regarding energy investments have been observed recently. In the scope of the study the status of energy investments was investigated from the Environmental Impact Assessment (EIA) decisions of the Ministry of Environment and Urbanization between 1993 and 2020. According to the data obtained, it has been determined that 1346 of 6310 EIA applications are related to energy investments and this ratio corresponds to 21%. Among the energy investments, it was determined that hydro-electric power plants took the first place as renewable energy sources, followed by wind power plants and solar power plants.

**Keywords:** EIA, EIA applications, energy investments.

\* Sorumlu Yazar: [hakanceylan@isparta.edu.tr](mailto:hakanceylan@isparta.edu.tr)



## 1. Giriş

İnsanların temel yaşamsal ihtiyaçlarını karşılamada zorunlu olan enerji hep önemli olmuştur. Sanayi Devrimi ile endüstride enerji kullanımının artması nedeniyle önemi daha da artmıştır. Ekonomik büyümeyi sağlama ve küresel ölçekte endüstriyel gelişim için sürdürülebilir koşullarda enerji ihtiyacının karşılanması önemlidir (Dışkaya, 2017). Ülkemizin de kalkınma, toplumsal refahı sağlama gayretleri enerji tüketimini arttırmıştır. Bu enerji talebinin de gittikçe artacağı tahmin edilmektedir. Yapılan çalışmalara ve hesaplamalara göre gelişmekte olan ülkelerden olan ülkemizde elektrik tüketimi, her yıl %7-8 oranında artmaktadır. (Özsayın, 2013).

Enerji tüketim miktarları ülkeler için gelişmişliğin bir göstergesi olmakla birlikte enerjinin üretim şekli ve yöntemi de çevresel etkileri açısından önem arz etmektedir. Özellikle fosil yakıtların kullanıldığı enerji üretim santrallerinin sera gazı emisyonlarını artırması küresel ısınma açısından olumsuz sonuçlara neden olmaktadır. Dünya genelinde enerji ihtiyacının, 2016 yılı verilerine göre, %33,3 oranında petrol, %28,1 oranında kömür, %24,1 oranında doğalgaz, %6,9 oranında hidrolik enerji, %4,5 oranında nükleer enerji ve %3,2 oranında yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlandığı belirlenmiştir (Koç vd., 2018). Bu oranlara göre yakın zamana kadar dünya enerji tüketiminin %85,5'inin fosil yakıtlardan sağlandığı anlaşılmaktadır.

Türkiye enerji üretimini uzun yıllar boyunca ağırlıklı olarak fosil yakıtlardan sağlayan ülkelerden biridir. 2012 yılı verileri enerji üretiminin %61'ini fosil yakıtlardan elde edildiğini göstermektedir (Say, 2013). Ancak Türkiye, jeotermal enerji kaynakları bakımından dünya genelininin %8'ine, coğrafyası nedeniyle ciddi bir güneş kaynağına, yerçekilleri ve su kaynakları açısından önemli bir hidrolik ve rüzgâr potansiyeline sahip olması sonucu yenilenebilir enerji kaynaklarının çeşitliliği ve potansiyeli bakımından zengin bir ülkedir. (Koç ve Kaya, 2015). Bu nedenle son yıllarda ülkemizde yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji üretiminde payının artırılması yönünde bir yönelim söz konusudur. Enerji üretiminde fosil yakıtların payının 2019 verilerine göre %56'ya gerilediği, yenilenebilir enerji kaynaklarının da %44 oranına ulaştığı bildirilmektedir. Fosil yakıtlardan enerji üretiminin yaklaşık %37'si kömür vb. yakıtlardan, %19'u da doğalgaz santrallerinden elde edilmiştir. Yüzde 44'lük paya sahip yenilenebilir enerji kaynaklarının da yaklaşık olarak %29,2'si hidroelektrik, %7,1'i rüzgar, %3,1'i güneş ve %3 civarı da jeotermal enerji santrallerinden sağlanmıştır (Anonim, 2021). Yenilenebilir enerji kaynaklarının kendi içerisindeki dağılımına bakıldığında, hidroelektrik santrallerin (HES) en büyük paya sahip olduğu ancak rüzgaz ve güneş gibi çevresel etkileri daha az olan kaynaklardan henüz yeterince yararlanılmadığı anlaşılmaktadır.

Ülkelerin endüstrileşme ve gelişme çabaları sonucu çevrede, doğada olumsuz etkiler ortaya çıkmakta, sonradan alınan tedbirler çoğu zaman yetersiz kalmaktadır. Üretim faaliyetlerinin çevrede oluşturacağı istenmeyen etkiler genellikle önceden yeterince değerlendirilmemekte bunun sonucunda olumsuz etkiler artmaktadır. Gelecekte oluşabilecek bu olumsuz çevresel etkileri ortadan kaldırmak ya da en aza indirmek için kullanılacak bazı yöntem ve araçlara ve bunların geliştirilmesine ihtiyaç söz konusudur (Cengiz Gökçe ve Barış, 2015).

Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED), fiziksel, biyolojik ve beşeri insan faaliyetlerinin çevre üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesini içerir. Çoğu ülkede planlama ve kalkınma

mevzuatının temel bileşenlerden birini ÇED oluşturmaktadır. (Vatansever Boşça ve Şahin Hamamcı, 2013). ÇED, gerçekleştirilecek faaliyetlerde ileride oluşabilecek çevresel etkilerin planlama aşamasında sistemli bir şekilde araştırılması, değerlendirilmesi, olumsuz etkilerinin önlenmesi, azaltılması için idari açıdan çevre ve doğayı korumak için gerekli kararların alınmasını sağlayan bir araçtır. ÇED sürecinde mümkün olduğu kadar, halkın katılımı toplantıları vasıtasıyla bölge halkı, ilgili kurum ve kuruluşların da katkısı ve görüşlerinin alınması esastır (Yücel, 2001). ÇED, faaliyetlerde oluşabilecek olumsuz çevre ve sağlık etkilerinin önceden belirlenip gerekli tedbirlerin alınmasını amaçlar. ÇED süreci, uzmanlaşmış kişiler tarafından bilimsel metotlarla faaliyetin fiziksel, ekolojik ve sosyo-ekonomik yönlerinin değerlendirilmesi, şiddetlerinin ve olumsuz etkilere karşı alınacak tedbirlerin belirlenmesi gibi çeşitli bileşenlerden oluşur (Uslu, 1994).

ÇED sürecinde her türlü çevresel etkinin önceden değerlendirmesi yapıldığı için işletmeler için çevresel açıdan topluca bir gözden geçirme yapılmaktadır. Bu değerlendirme sonucunda faaliyetin durumuna göre, oluşabilecek değişik çevresel etkiler belirlenir. Bunun sonucu olarak da işletmeler için çevre açısından hem teknik hem de hukuki olarak birçok yükümlülük taahhüt altına alınmış olur.

ÇED sürecinin planlanan yatırımla ilgili, yöre halkının fikir, görüş, itiraz ve önerilerini önemseyen şeffaf ve demokratik bir yanı söz konusudur. Özellikle halkın katılımı sürecinde konu ile ilgili tüm tarafların ilgili faaliyet hakkında görüş bildirme hakkı mevcuttur. Bu sürecin iyi değerlendirilmesi, faaliyetin uygulanması aşamasında oluşabilecek olumsuz tepkilerin önlenmesi açısından önemlidir. Çünkü faaliyete başlamadan önce, konu ile ilgili taraflar bilgilendirilmekte ve projeye katılımı sağlanmaktadır. Bu bilgilendirmeye işletme aşamasına geldikten sonra oluşabilecek şikayetlerin de büyük oranda önlenmesi söz konusudur.

Gerçekleştirilecek faaliyetlerde korumacı bir yaklaşımla çevre kirliliği oluşmadan önce önlem alınması daha az maliyet gerektirir. Zira çevre kirliliği oluştuğundan sonra temizlenmesi, eski haline getirilmesi hem daha zor hem de maliyeti çok yüksek olmaktadır. ÇED süreci sadece hukuki bir zorunluluk olarak görülmemeli, aynı zamanda hem faaliyetin ekonomik ve teknik olarak sürdürülebilirliği hem de bizden sonraki kuşaklara yaşanılabilir bir çevre bırakmak için kullanılan bir çevre yönetim aracı olarak görülmelidir (Turan ve Güner, 2017).

ÇED 50 yıla yakın süredir öncelikle ABD ve AB ülkeleri olmak üzere dünyada uygulanmakta olan en etkin çevre yönetim araçlarından biridir (Dikmen, 2019). ÇED dünyada ilk olarak 1970 yılında ABD'nde yürürlüğe girmiş, bunu Kanada, Batı Almanya, Fransa gibi gelişmiş ülkeler izlemiştir.

Türkiye'de ise 1993 yılında Çevre Kanunu'nun 10. maddesine dayanılarak çıkarılan bir yönetmelikle uygulanmaya başlanmış ve yasal bir zorunluluk haline gelmiştir. ÇED Yönetmeliği'nin ekinde ÇED'e tabi olan faaliyetler EK-I ve EK-II olarak 2 kısımda verilmektedir. Genel olarak çevresel etkileri daha fazla olan, kapasiteleri yüksek faaliyetler EK-I'de yer almaktadır. Bu faaliyetlerde ÇED raporu hazırlanması gerekliliği vardır. ÇED Raporunun Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'na değerlendirilmesi sonucunda "*Çevresel Etki Değerlendirmesi Olumlu*" veya "*Çevresel Etki Değerlendirmesi Olumsuz*" kararı verilir. EK-II'de ise EK-I'deki faaliyetlerden daha küçük faaliyet ve işletmeler yer almaktadır. EK-II'deki işletmelerden proje tanıtım dosyası istenir. Bu dosyada faaliyetle ilgili

kapasite, kullanılan teknoloji, oluşacak atıkların türü ve miktarı, atıkların bertaraf şekli, faaliyet alanına ilişkin çevresel özellik vb. bilgiler verilir. EK-II'deki faaliyetlerle ilgili olarak proje tanıtım dosyasının incelenmesi sonucunda, "Çevresel Etki Değerlendirmesi Gereklidir" veya "Çevresel Etki Değerlendirmesi Gerekli Değildir" kararı verilmektedir. Bu karar da yönetmeliğe göre Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'na verilmektedir. Ancak Bakanlık bu yetkiyi Valiliklere devredilebilmektedir.

ÇED Yönetmeliği ek kısmında ÇED raporu formatı verilmektedir. ÇED raporunda faaliyetle ilgili iş akım şeması, kapasite, kullanılan alan, çalışan sayısı, kullanılacak teknoloji vb. konularda bilgi verilir. Ayrıca, arazi kullanımına göre proje etki alanı net olarak belirtilir. Proje kapsamında Ek V Duyarlı Yörelere Listesi içerisinde kalan alan varsa ayrıntılı olarak incelenir ve belirtilir. Proje alanındaki vejetasyon tipinin, grid sistemine göre hangi karede yer aldığı belirtilir. Proje etki alanının flora-fauna açısından incelenmesi, varsa ulusal ve uluslararası koruma altına alınmış endemik türlerin belirlenmesi ve envanterinin çıkarılması gerekir. Ayrıca projeden etkilenen flora-faunayı korumak için alınacak önlemlerin açıklanması gerekmektedir.

Faaliyetin çevre üzerine etkilerinin belirlenmesi amacıyla, projedeki doğal kaynak kullanımı, yapılacak örtü kazı miktarı ve bunun nerede ve nasıl depolanacağı, tesiste kullanılacak içme, kullanma suyu miktarı, suyun nereden ve ne şekilde sağlanacağı belirtilmesi gerekir. Ayrıca tesiste oluşacak atık türleri (katı atık, sıvı atık, toz vb.), bu atıkların muhtemel olarak miktarları ilgili yönetmeliklere göre değerlendirilerek verilmelidir. İşletmede kullanılacak teknoloji ve malzemeler ayrıntılı olarak belirtilerek bunlara bağlı oluşabilecek kazalara karşı alınacak önlemler belirtilir.

Projenin olası çevresel etkileri belirlendikten sonra, bu çevresel etkilerin en aza indirilmesi veya tamamen önlenmesi için yapılacak işlemler, doğaya geri kazanım ile ilgili bilgiler ayrıntılı olarak verilir.

Son olarak projenin genel bir değerlendirmesi yapılarak 2872 sayılı Çevre Kanunu ve ilgili yönetmelikler ile diğer mevzuatlar kapsamında gerekli her türlü izinlerin alınacağı ve ilgili yönetmeliklere uyulacağı taahhüt edilir.

Enerji yatırımları büyük ve çevresel etkileri önemli olması nedeniyle ÇED sürecine tabi faaliyetlerdir. ÇED Yönetmeliği ek kısmında ÇED sürecine tabi olan enerji yatırımları aşağıda verilmiştir (Anonim, 2014):

#### EK-I'deki Enerji Yatırımları:

- Termik santraller:
  - Termik santraller ve diğer yakma sistemleri (Isıl gücü  $\geq 300$  MWt olanlar)
  - Nükleer santraller veya diğer nükleer reaktörlerin kurulması veya sökümü (maksimum gücü sürekli termik yük bakımından 1 kilovatt aşmayan, atom çekirdeği parçalanabilen ve çoğalan maddelerin dönüşümü, üretimi amaçlı araştırma projeleri hariç)
- Hidroelektrik santraller ( $\geq 10$  MWm olanlar)
- Rüzgar enerji santralleri ( $\geq 50$  MWm olan veya türbin sayısı 20 adet ve üzerinde olanlar)
- Jeotermal kaynağın çıkartılması ve kullanılması ( $\geq 20$  MWe olanlar)
- Güneş enerji santralleri ( $\geq 10$  MWe olan veya proje alanı 20 hektar ve üzerinde olanlar)

- Elektrik enerjisi iletim hatları ( $\geq 154$  kV (Kilovolt) gerilimde ve uzunluğu  $\geq 15$  km ve üzeri olanlar)

#### EK-II'deki Enerji Yatırımları:

- Elektrik enerjisi iletim hatları (uzunluğu 5-15 km ve üzeri ve  $\geq 154$  kV (Kilovolt) gerilimde olanlar)
- Hidroelektrik santraller (1-10 MWm olanlar)
- Rüzgar enerji santralleri ( $\geq 10$  MWm olan veya türbin sayısı 5 adet ve üzerinde olanlar)
- Jeotermal kaynağın çıkartılması ve kullanılması ( $\geq 5$  MWe olanlar)
- Güneş enerji santralleri ( $\geq 1$  MWe olan veya proje alanı 2 hektar ve üzerinde olanlar-cephe ve çatı sistemleri hariç)

ÇED başvurularının incelenmesi ve analiz edilmesi sonucu, ülkelerin endüstriyel gelişimi, bunun yıllar içerisindeki yöneliş eğilimleri, ülke içindeki bölgesel endüstriyel yatırım farklılıkları, kalkınma eğilimleri vb. hususlarda dolaylı olarak da olsa çeşitli bilgiler edinilebilmektedir. Türkiye'de de 1993 yılından beri çeşitli revizyonlar geçirerek uygulanan ÇED Yönetmeliği günümüz ihtiyaçlarına yanıt verme yolunda gelişim göstermektedir. 1993 yılından bu yana bakıldığında ÇED kararlarının her yıl arttığı anlaşılmaktadır (Salıhoğlu, 2013). Bu çalışmada da ülkemizdeki ÇED başvuruları ile ilgili kararlar incelenmiş ve enerji yatırımları açısından analiz edilmiştir. Enerji yatırımlarının çeşitliliği, yönelimleri ve özellikle yenilenebilir enerji kaynak yatırımlarının durumu, sayıları belirlenmeye çalışılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

Çalışmada 1993-2020 yılları arasında Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'na EK-I kapsamında Çevresel Etki Değerlendirmesi için başvuru yapan işletmeler arasında enerji yatırımları ile ilgili olanlar incelenerek ÇED başvurularının türü, yılı, illere göre dağılımı ve sonuçları araştırılmıştır.

Çevre Şehircilik Bakanlığı ÇED Genel Müdürlüğü'nden alınan ham veriler analiz edilerek enerji yatırımlarının oranı, olumlu, olumsuz sonuçlanan ve/veya iptal edilen ÇED başvurularında enerji yatırımlarının durumu, enerji yatırımları arasında kendi içerisinde çeşitlilik dağılım oranları, olumsuz sonuçlanan veya iptal edilen enerji yatırımlarının türü istatistik olarak analiz edilmiştir. Çalışmada, elde edilen sayısal verilerden Türkiye'nin enerji yatırımlarının çeşitliliği, yönelimi ve uygulanan ÇED süreçleri ile ilgili bilgiler elde edilmeye çalışılmıştır.

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Araştırma kapsamında 1993-2020 yılları arasında, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'na 6310 ÇED başvurusu olduğu belirlenmiştir. Bu başvurulardan 559'u olumsuz sonuçlanmış olup oran olarak %8,8'e tekabül etmektedir. Bu olumsuz sonuçlanan başvuruların büyük bölümü ise mevzuata uygun olmamasından kaynaklanmaktadır. Araştırmadaki tüm bulgular Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'ndan verilerinden elde edilmiştir (Anonim, 2020).

Tablo 1. ÇED başvurularında enerji yatırımlarının yeri

Sektör	ÇED Başvuru Sayısı	Oranı (%)
Enerji Yatırımları	1346	21
Diğer Sektörler	4964	79
TOPLAM	6310	100

Tablo 1’de verilen Bakanlık verilerine göre, 01.01.2020 tarihine kadar EK-I listesinde olan toplam 6310 adet ÇED başvurusunun 1346’sının enerji yatırımları ile ilgili olduğu tespit edilmiştir. Enerji yatırımlarının toplam başvurular içerisindeki oranı %21’dir.

Tablo2. ÇED başvurularında enerji yatırımlarının yıllara göre dağılımı

Yıllar	Başvuru Sayısı
1993	0
1994	3
1995	3
1996	2
1997	3
1998	4
1999	13
2000	23
2001	23
2002	17
2003	14
2004	18
2005	17
2006	17
2007	41
2008	59
2009	58
2010	87
2011	80
2012	126
2013	150
2014	139
2015	84
2016	83
2017	96
2018	96
2019	90
TOPLAM	1346

Tablo 2’de ÇED başvurusu yapılmış enerji yatırımlarının yıllar içerisindeki dağılımı verilmiştir. Tablo 2’deki verilerden enerji yatırımları ile ilgili başvuruların 2000’li yıllarda artmaya başladığı, 2013 yılında ise 150 başvuru ile en yüksek değere ulaştığı anlaşılmaktadır. 2015 yılından itibaren 100’ün altına düşse de 90’lı rakamlarda seyrettiği görülmektedir. Bu rakamlardan enerji yatırımlarının son yıllarda sayı olarak artış göstermese de süreklilik gösterdiği anlaşılmaktadır.

Tablo 3’te ise ÇED başvurusu yapılmış enerji yatırımlarının illere göre dağılımı görülmektedir. Tablo 3’e göre enerji yatırımları ile ilgili başvuru sayılarında Adana ve Artvin 64 başvuru ile 1. sırada yer almaktadır. İzmir 48 başvuru ile 2. sırada, Antalya’nın ise 44 başvuru ile 3. sırada olduğu görülmektedir. Enerji yatırımları açısından en az ÇED başvurusu ise 1 başvuru ile Sinop, daha sonra 2’ser başvuru ile Aksaray, Iğdır, Kilis ve Niğde illerinden yapılmıştır. Ayrıca 81 ilin

tamamında enerji sektörü ile ilgili ÇED başvurusu olduğu görülmektedir.

Tablo3. ÇED başvurularında enerji yatırımlarının illere göre dağılımı

Şehir	Sayı	Şehir	Sayı
Adana	64	İstanbul	21
Adıyaman	14	İzmir	48
Afyon	15	Kahramanmaraş	22
Ağrı	9	Karabük	8
Aksaray	2	Karaman	21
Amasya	10	Kars	11
Ankara	35	Kastamonu	27
Antalya	44	Kayseri	18
Ardahan	10	Kırıkkale	12
Artvin	64	Kırklareli	21
Aydın	34	Kırşehir	3
Bahkesir	28	Kilis	2
Bartın	9	Kocaeli	13
Batman	12	Konya	24
Bayburt	4	Kütahya	7
Bilecik	7	Malatya	13
Bingöl	25	Manisa	31
Bitlis	13	Mardin	6
Bolu	9	Mersin	29
Burdur	4	Muğla	17
Bursa	24	Muş	5
Çanakkale	37	Nevşehir	7
Çankırı	12	Niğde	2
Çorum	6	Ordu	25
Denizli	13	Osmaniye	4
Diyarbakır	11	Rize	31
Düzce	13	Sakarya	12
Edirne	6	Samsun	14
Elazığ	18	Siirt	18
Erzincan	18	Sinop	1
Erzurum	42	Sivas	21
Eskişehir	5	Şanlıurfa	14
Gaziantep	8	Şırnak	14
Giresun	37	Tekirdağ	16
Gümüşhane	12	Tokat	21
Hakkari	12	Trabzon	18
Hatay	19	Tunceli	4
Iğdır	2	Uşak	6
Isparta	7	Van	15
Zonguldak	12	Yalova	5
Yozgat	13	TOPLAM	1346

Tablo 4. ÇED başvurularında enerji sektörü içindeki dağılım

Tür	Sayı
Hidroelektrik Santrali (HES)	544
Enerji İletim Hattı (EİH)	280
Rüzgar Enerjisi Santrali (RES)	145
Doğalgaz Santrali	68
Güneş Enerjisi Santrali	40
Elektrik Enerjisi Üretim Tesisi	40
Baraj ve Sulama	100
Jeotermal Santrali	30
Kömür	13
Atık Geri Kazanım Tesisi	13
Kül Depolama	16
Diğer	57
TOPLAM	1346

ÇED başvuruları arasında %21'lik dilime sahip enerji yatırımlarının sektör içerisindeki tür dağılımı ise Tablo 4'deki gibidir. Verilere göre en çok hidroelektrik santrali, daha sonra enerji iletim hattı ve rüzgar enerji santrali yatırımları için ÇED başvurusu yapıldığı anlaşılmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları olarak rüzgar enerji santralleri ÇED başvuruları arasında 3. sırada yer alırken kömür ile ilgili sadece 13 ÇED başvuru yapılmış olması dikkat çekicidir. Bu verilere göre yenilenebilir enerji yatırımlarında bir artış olduğu görülmektedir. Ayrıca önemli bir fosil yakıt olan kömürle ilgili yeni yatırımların azaldığı anlaşılmaktadır.

Enerji yatırımları ile ilgili ÇED başvurularının 112'si olumsuz sonuçlanmıştır. Bunların 109'u mevzuata uygun bulunmadığı için, geri kalan 3 başvuru ise ÇED raporu uygun olmadığı için olumsuz sonuçlanmıştır. Bu rakamlara göre enerji ile ilgili ÇED başvurularının % 8,3'ünün olumsuz sonuçlandığı anlaşılmaktadır.

Tablo 5. Enerji sektöründe olumsuz sonuçlanan ÇED başvurularında tür dağılımı

Tür	Sayı
Hidroelektrik Santrali	56
Rüzgar Enerjisi Santrali	18
Güneş Enerjisi Santrali	4
Termik Santral	23
Doğalgaz Santrali	3
Atık Geri Kazanım Tesisi	4
Jeotermal Santrali	1
Kömür Santrali	1
Diğer	2
TOPLAM	112

Tablo 5'de enerji sektörüne ait olumsuz sonuçlanan ÇED başvurularının türe göre sayıları verilmektedir. Hidroelektrik santrali yatırımlarına ait Tablo 4'de görülen 544 ÇED başvurusunun 56'sının olumsuz sonuçlandığı görülmektedir. Daha sonra 2. sırada 23 termik santral ve 3. sırada 18 rüzgar

enerji santrali başvurusunun olumsuz sonuçlandığı belirlenmiştir.

#### 4. Sonuç

ÇED başvurularına ait verilerin analiz edilmesi sonucunda aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

1993-2020 yılları arasında Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'na 6310 ÇED başvurusu yapılmış bunlardan 559'u olumsuz sonuçlanmıştır. Başvuruların %91,2'si olumlu olarak sonuçlandığı belirlenmiştir.

Toplam 6310 ÇED başvurusu içerisinde 1346'sının enerji yatırımları ile ilgili olduğu ve oran olarak %21'e tekabül ettiği tespit edilmiştir.

Enerji yatırımları ile ilgili ÇED başvurularının 2000'li yıllarda artmaya başladığı, 2013 yılında ise 150 başvuru ile en yüksek değere ulaştığı, 2015 yılından itibaren 100'ün altına düşse de 90'lı rakamlarda seyrettiği ve günümüze kadar süreklilik gösterdiği anlaşılmaktadır.

Enerji yatırımları ile ilgili ÇED başvuru sayılarında Adana ve Artvin 64 başvuru ile 1. sırada, İzmir 48 başvuru ile 2. sırada, Antalya ise 44 başvuru ile 3. sırada yer almaktadır. En az başvuru ise 1 başvuru ile Sinop, daha sonra 2'ser başvuru ile Aksaray, Iğdır, Kilis ve Niğde illerinden yapılmıştır. Ayrıca 81 ilin tamamından başvuru olduğu görülmektedir.

Bulgulara göre en çok hidroelektrik santrali, daha sonra enerji iletim hattı ve rüzgar enerji santrali yatırımları için ÇED başvurusu yapıldığı anlaşılmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları olarak rüzgar enerji santrallerinin ÇED başvuruları arasında 3. sırada yer aldığı belirlenmiştir. Kömür ile ilgili sadece 13 ÇED başvuru yapılmış olması, enerji üretiminde fosil yakıtı dayalı yatırımların nispeten azaldığını göstermektedir. Bu rakamlar da ülkemizde enerji yatırımlarının fosil yakıtlardan yenilenebilir kaynaklara yöneldiğini göstermektedir.

Enerji yatırımları ile ilgili ÇED başvurularının % 8,3'ünün olumsuz sonuçlandığı belirlenmiştir. Enerji yatırımlarının olumsuz sonuçlanma oranı, tüm ÇED başvurularının olumsuz sonuçlanma oranı olan % 8,8'e çok yakındır. Yani enerji yatırımlarına ait ÇED başvurularının olumsuz sonuçlanma oranı, genel ÇED başvurularının olumsuz sonuçlanma oranlarına paralellik göstermektedir.

Enerji sektörüne ait olumsuz sonuçlanan 112 ÇED başvurusunun 56'sının hidroelektrik santrali, 23'nün termik santral ve 18'inin rüzgar enerji santraline ait olduğu tespit edilmiştir. Bu rakamlar da ülkemizde ÇED sürecinin önemini ve işlevini yerine getirdiğini göstermektedir.

#### Kaynakça

- Anonim, (2019). Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED) Yönetmeliği. Resmî Gazete, 25.11.2014, Sayısı: 29186
- Anonim, (2020). ÇED kararları, 10.01.2020, <https://ced.csb.gov.tr/>
- Anonim, (2021).Yıllık enerji üretiminin kaynaklara göre dağılımı, 09.06.2021, <https://www.enerjiatlasi.com/elektrik-uretimi/>
- Cengiz Gökçe, G., Barış, M.E. (2015). Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED)- Stratejik Çevresel Değerlendirme (SÇD) ilişkisi ve peyzaj planlama sürecinde stratejik çevresel değerlendirmenin önemi, *International Journal of*

- Science Culture and Sport*, Özel Sayı 3, 782-792. DOI: 10.14486/IJSCS345
- Dışkaya, S.K. (2017). Türkiye'nin enerji güvenliğinde yenilenebilir enerji etkisinin politik ekonomi perspektifi, *Marmara Üniversitesi Siyasal Bilimler Dergisi*, 5(2), 129-150. DOI: 10.14782/sbd.2017.69
- Dikmen, A.Ç. (2019). Stratejik Çevresel Değerlendirme (SÇD) Yönetmeliği'nin Türkiye'nin çevre politikasına katkısı, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (15), 535-541. DOI: 10.31590/ejosat.532951
- Koç, A., Yağlı, H., Koç, Y., Uğurlu, İ. (2018). Dünyada ve Türkiye'de enerji görünümünün genel değerlendirilmesi, *Mühendis ve Makine*, 59(692), 86-114.
- Koç, E., Kaya, K. (2015). Enerji kaynakları-yenilenebilir enerji durumu, *Mühendis ve Makina*, 56(668), 36-47.
- Özsayın, S. (2013). Enerji Alternatiflerinin Çevre ile Etkileşimi, *T.C. Çevre Bakanlığı Uluslararası ÇED Kongresi*, 287-299.
- Salihoğlu, G., (2013). Sayılarla Türkiye'de alınan ÇED kararları, *T.C. Çevre Bakanlığı Uluslararası ÇED Kongresi*, 67-74.
- Say, N.(2013). Enerji politikaları ve SÇD: Türkiye örneği, *T.C. Çevre Bakanlığı Uluslararası ÇED Kongresi*, 265-278.
- Turan, E.S., Güner, E.D. (2017). Türkiye'de Çevresel Etki Değerlendirme mevzuatındaki değişimler, *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 3(1), 39-47. DOI: 10.21324/dacd.286187
- Uslu, O. (1994). *ÇED eğitimi, Çevre kavramına genel bakış*, Türkiye Çevre Vakfı Yayını, Önder Matbaası, Ankara.
- Vatansever Boşça, A., Şahin Hamamcı, N. (2013). Kümülatif Çevresel Etki Değerlendirmesi, *T.C. Çevre Bakanlığı Uluslararası ÇED Kongresi*, 33-47.
- Yücel, M. (2001). *Çevresel Etki Değerlendirmesi*, Baki Kitabevi, Adana.



# Evaluation the Impact of the Agricultural Activities on the Soil and Water: Case Study in Konya Province, Turkey

Nadire Üçler\*

Van Yuzuncu Yil University, Van Vocational School of Higher Education, Department of Construction Technology, Van, Turkey, (ORCID: 0000-0001-6407-121X),  
[nadireucler@yyu.edu.tr](mailto:nadireucler@yyu.edu.tr)

(First received 25 June 2021 and in final form 28 August 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.957724)

**ATIF/REFERENCE:** Üçler, N. (2021). Evaluation the Impact of the Agricultural Activities on the Soil and Water: Case Study in Konya Province, Turkey. *European Journal of Science and Technology*, (27), 243-250.

## Abstract

As in many countries, Turkey's primary problem is the sustainable use of water resources. Agricultural activities not only affect the quantity of water but also quality. In this study, 2149 soil sample analysis reports were examined to evaluate the impact of agricultural activities on soil and water. Some important properties of soil have been investigated. Kruskal Wallis and Mann-Whitney tests were applied to examine whether there are significant differences between the phosphorus contents of the soil according to the districts and years. Different scenarios have been investigated to reduce the phosphorus (P) concentration resulting from excessive fertilizer use. According to the results obtained, it was determined that safflower cultivation, which needs less fertilizer, and the use of ideal fertilizers can reduce the total P amount in half of the barley cultivation areas and half of the fallow areas.

**Keywords:** Water, Soil, Sustainability, Agricultural Activity, Pollution.

## Tarımsal Faaliyetlerin Toprak ve Su Üzerindeki Etkisinin Değerlendirilmesi: Konya İli, Türkiye Örneği

### Öz

Birçok ülkede olduğu gibi, Türkiye'nin de öncelikli sorunu, su kaynaklarının sürdürülebilir kullanımıdır. Tarımsal faaliyetler sadece suyun miktarını değil aynı zamanda kalitesini de etkiler. Bu çalışmada, tarımsal faaliyetlerin toprak ve su üzerindeki etkisini değerlendirmek için 2149 toprak numunesi analiz raporu incelenmiştir. Toprağın bazı önemli özellikleri araştırılmıştır. Toprağın fosfor içerikleri arasında ilçelere ve yıllara göre önemli farklılıklar olup olmadığını incelemek için Kruskal Wallis ve Mann-Whitney testleri uygulanmıştır. Fazla gübre kullanımından kaynaklanan fosfor (P) konsantrasyonunu azaltmak için farklı senaryolar incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre arpa ekim alanlarının yarısında ve nadas alanlarının yarısında daha az gübre ihtiyacı olan aspir ekimi ve ideal gübre kullanımının toplam P miktarını azaltabileceği belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Su, Toprak, Sürdürülebilirlik, Tarımsal Faaliyet, Kirlilik.

\* Corresponding Author: [nadireucler@yyu.edu.tr](mailto:nadireucler@yyu.edu.tr)

## 1. Introduction

One of the most important parameters of sustainable watershed management is to identify pollutant sources and the appropriate strategy for the control of existing pollution. The fertilizers, herbicides and insecticides from agricultural lands and settlements can be listed among the main spread pollution sources. Nonpoint pollutants that reach high intensity cause degradation of the ecology and water quality of both underground and surface water sources. While the deterioration of ecological balance affects the vital activities of creatures living in these resources, the deterioration of water quality increases the costs of drinking water treatment and drinking water, recreation, etc. to disrupt the suitability for its intended use (Environment Agency, 2007; National Oceanic and Atmospheric Administration, 2008).

An increase in concentration of nutrients such as nitrogen (N) and P in aquatic ecosystems may cause a problem called eutrophication (Nixon, 1996). The local watershed landscapes such as the soil, topography, and land use have intensely effects on the concentrations of N and P in waterbodies (Li, 2020).

Plants need P which is the significant element for its growing and improvement. When the amount of phosphorus and organic matter is inadequate, fertilization is suggested to the cultivated plants (Bozyigit, 2020). Therefore, farmers tend to fertilize them during planting. And consequently, great ratio of P becomes inorganic in the soil which is cultivated and fertilized regularly (Dungait et al., 2012). After fertilization, a significant amount of P is either absorbed by soil or precipitated (Blake et al., 2000). Also, high level of N applications which are above the crop need are possibly kept in the soil or gone to air or to water (Goulding et al., 2008). It is generally supposed that 5% of total P originated from fertilizers is received by the water body (Ozturk et al., 2007). Although small P losses from agriculture, it can be important for eutrophication of surface waters. (Johnston and Dawson, 2005).

Because of high level of nutrient concentrations, eutrophication is a significant problem in numerous Turkish river basins. In several studies conducted in Turkey, it was determined that the main cause of the formation of the P load resulted from agricultural activities (Ugurluoglu, 2009; Ozalp, 2009).

For these reasons, it has been thought that the evaluation of soil analysis reports of agricultural areas obtained from a province where intensive agricultural activities are carried out is important to understand the effects of agricultural activities on both soil and water resources. In this study, the current state of some important properties of the soil was determined by examining the analysis reports of 2149 soil samples in which different crops were planted between 2013 and 2015. Besides, predictions have been made about the change in the amount of P to be transported to water resources if different crops were planted or enough fertilizers were used.

## 2. Material and Method

### 2.1. Study Area

Konya province is in the south of Central Anatolia Region. Konya is geographically located between  $36^{\circ} 41'$  and  $39^{\circ} 16'$  north latitudes and  $31^{\circ} 14'$  and  $34^{\circ} 26'$  east longitudes. The total area is 41 001 km<sup>2</sup> and its average elevation is 1 016 m. There are

mostly medium and large-scale agricultural enterprises in Konya, and it meets the requirement of the country in wheat, sugar beet, rye, bean, carrot, and legume production. Konya province has important lakes such as Lake Salt, Lake Beysehir and Lake Aksehir. With its wide plains such as Cihanbeyli Plateau and Obruk Plateau, it is a province that is qualified as the agricultural warehouse of Turkey (Ministry of Environment and Urbanization, 2018).

Lakes such as Lake Kulu Duden, Lake Salt and Lake Tersakan, where host water birds, are polluted as a result of the fertilizers and pesticides used in the agricultural areas surrounding them reaching the lake with surface water and precipitation into the lake. Because of these features, this province has been chosen as the study area. It is considered that the results obtained from these areas may reflect the impacts of the agricultural habits of country.

The soil analysis reports of 2149 soil samples belonging to agricultural areas (78 520 da) in Cihanbeyli, Kulu and Altinekin districts were examined (Figure 1) (US Dept of State Geographer, 2020). These analysis reports were obtained from a laboratory where farmers conducted soil analysis to find out the amount of fertilizer required for the crops they planted. It is a certified laboratory inspected by the Ministry of Agriculture.

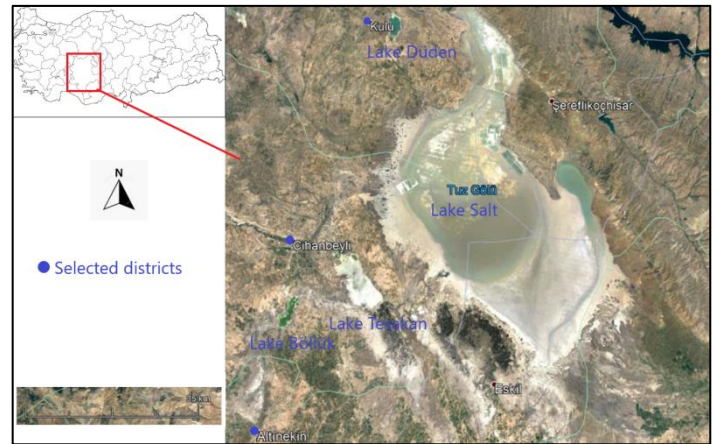


Figure 1. Study area

In this study, the following methods were used to determine whether the problem of excess fertilizer use is valid for the three districts and three years to which the samples belong.

### 2.2. The Shapiro–Wilk Test

The Shapiro–Wilk test is a test of normality was developed by Shapiro and Wilk in 1965 (Shapiro and Wilk, 1965).

The hypotheses are as below:

$H_0$ : the data set is normally distributed.

$H_1$ : the data set is not normally distributed.

If the p value is less than the chosen alpha level, then the  $H_0$  is rejected, and it is accepted that the data tested are not normally distributed. If the p value is greater than the chosen alpha level, the  $H_0$  cannot be rejected.

For this study alpha level was chosen as 0.05. For more information about test see Shapiro and Wilk (1965)

### 2.3. Kruskal-Wallis Test

The Kruskal–Wallis test was developed by Kruskal and Wallis in 1952 (Kruskal and Wallis, 1952). This test is a nonparametric test its aim to state whether all data sets are identical or at least one of the data sets have a tendency give observations that are different from those of other data sets. The Kruskal-Wallis test is applied if the data is not normally distributed, if the number of groups/conditions is three or more and different subjects are used in all groups/conditions.

The hypotheses are as below:

$H_0$ : There is no difference between the data sets.

$H_1$ : At least one of the data sets differs from the other data sets.

For more information about test see Kruskal and Wallis (1952).

### 2.4. The Mann–Whitney U test

The Mann–Whitney U test is a nonparametric test and has a purpose in to determine if there are statistically significant differences between two data sets (Mann and Whitney, 1947).

The hypotheses are as below:

$H_0$ : the distributions of both data sets are equal.

$H_1$ : the distributions are not equal.

For more information about test see Mann and Whitney (1947).

### 2.5. Strategy to Reduce to P Amount

How the proper fertilizer usage may affect the P level was examined using equations 1 and 2.

$$Z_p = \frac{\sum_{i=1}^n X_i A_i - \sum_{i=1}^n Y_i A_i}{\sum_{i=1}^n X_i A_i} \cdot 100 \quad (1)$$

$$W_p = \frac{\sum_{i=1}^n X_i A_i - \sum_{i=1}^n Y_i A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (2)$$

Here:

$Z_p$ : change in the total amount of P (%)

$W_p$ : change in total P amount per decare ( $\text{kg da}^{-1}$ )

n: number of samples

X: current P concentrations of soil samples ( $\text{kg da}^{-1}$ )

Y: ideal P concentrations for each crop ( $\text{kg da}^{-1}$ )

A: cultivation area (da)

Equations 3 and 4 were used to determine the effect of growing alternative crops on the amount of P.

$$T_p = \frac{B.C - (B+S) \cdot \frac{C}{2}}{B.C} \cdot 100 \quad (3)$$

$$K_p = \frac{B.C - (B+S) \cdot \frac{C}{2}}{\sum_{i=1}^n X_i A_i} \cdot 100 \quad (4)$$

Here:

$T_p$ : change in the total amount of P based on the area in which the current crop was planted (%)

$K_p$ : change in the total amount of P based on all cultivated areas (%)

B: mean P value of soil where current crop was planted ( $\text{kg da}^{-1}$ )

C: total cultivation area of current crop (da)

n: number of samples

X: current P concentrations of soil samples ( $\text{kg da}^{-1}$ )

S: P concentration of alternative crop ( $\text{kg da}^{-1}$ )

A: cultivation area (da)

## 3. Results and Discussion

Some important parameters will be examined in detail below according to the soil analysis reports of 2149 soil sample which belong to the three districts.

### 3.1. Crops and Soil Type

Figure 2 illustrates that the percentage of areas of crops cultivated on the soil in where these 2149 examples were taken. It is understood from reports that the main crops are wheat, sunflower, and barley, additionally it is seen that an important amount of area is left fallow.

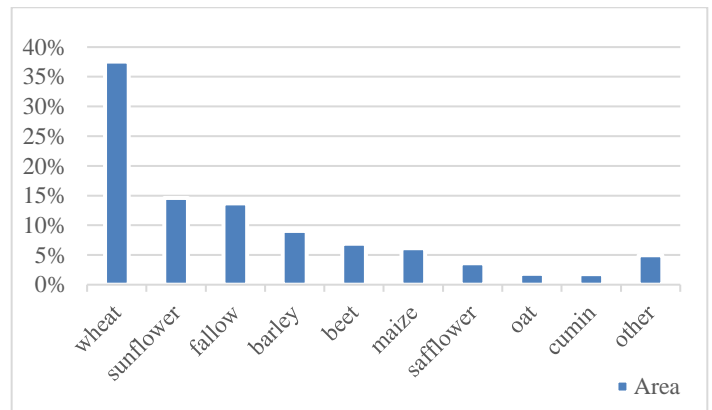


Figure 2. The evaluation of areas of crops

Figure 3 explains that the percentage of areas of dry and irrigated areas. Some reports do not have any explanation about cultivation method, so they are indicated as undefined. Although irrigated agriculture seems to have a higher percentage than dry agriculture, there is uncertainty in this regard due to samples with undefined status. Study area is more suitable for dry cultivation due to its climate.



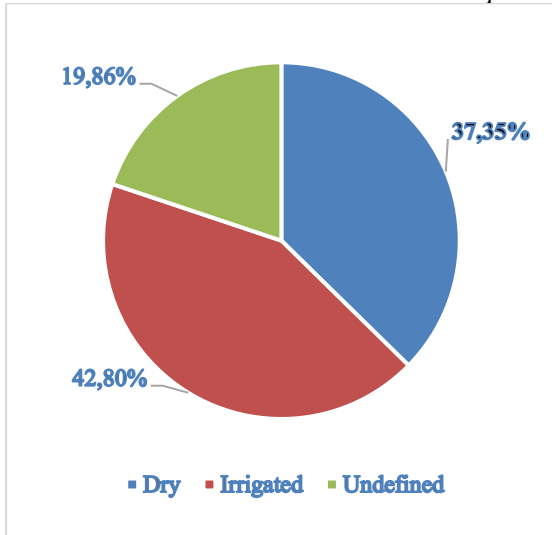


Figure 3. The evaluation of cultivation type

The percentages of soil type indicate that most of the samples are loam and clay loam soils (Figure 4).

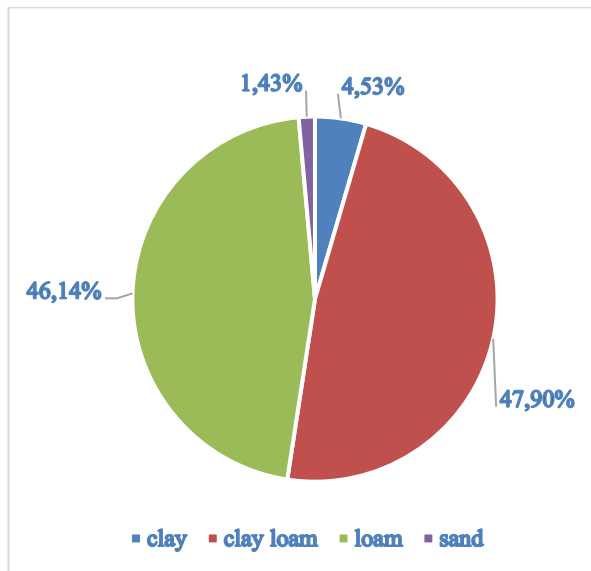


Figure 4. The evaluation of soil type

### 3.2. Some Features of Soil

The current situations of soil salinity, pH value (in water saturated soil), lime ( $\text{CaCO}_3$ ), organic matter, P (from  $\text{P}_2\text{O}_5$ ) and potassium (K) (from  $\text{K}_2\text{O}$ ) amounts were determined.

The pH shows the levels of acidity or basicity of the soil. These levels have such an important act in the digestion of nutrients by the plant. The pH level can be affected by different features such as the seasons, the water content, the type and temperature of soil, and the presence of a crop (Didon, 2015; Baiza, 2000). The soil of the study area is slightly alkaline with a mean of 8.36 and its standard deviation is 1.817. The organic matter of the soil indicates the quality of the soil (Laudicina et al., 2015) owing to its positive effects on some features of soil such as stability and the water-holding capacity. The results show that the soils of the study area have a “medium level” of organic matter with %2.11, its standard deviation is 0.76.

The general evaluation of pH and total organic matter can be seen in Figure 5 and Figure 6, respectively.

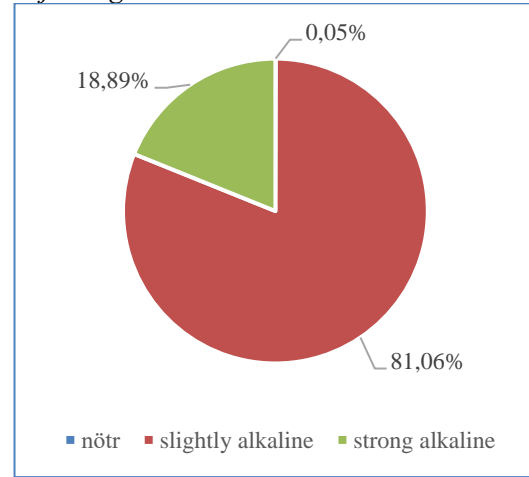


Figure 5. The evaluation of pH

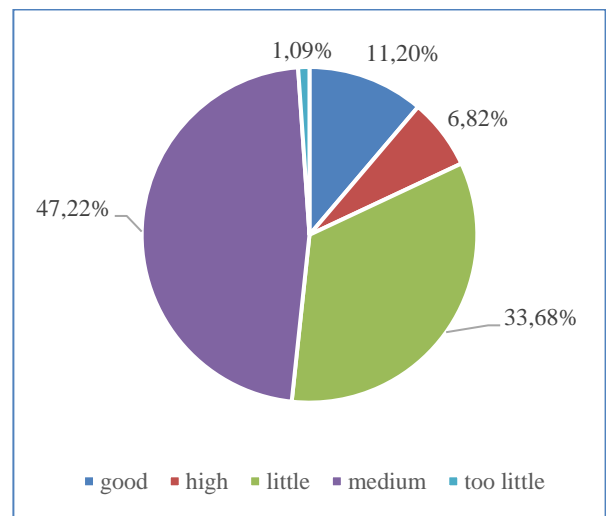


Figure 6. The evaluation of organic matter

According to the results, some samples have high level of salt contents like 62.55% which has been increasing the average of salt level to 0.84% although more than 97% of soil are characterized without salt.

The mean K value of the soil examples is  $322.90 \text{ kg da}^{-1}$  and this result shows that these areas are rich in K. Maximum K value is  $3134.97 \text{ kg da}^{-1}$  and its standard deviation is  $262.84 \text{ kg da}^{-1}$  which indicates there are unnecessary K fertilization. The unnecessary amount of the K may change to salt and cause deficiencies of Mg, Ca, B, Zn, Mn for crops, which affects the quality negatively. They can easily contaminate groundwater through percolation and infiltration.

General evaluation of the P contents of the soil, which has the major effects on the contamination of the water resources, are showed that above 55% of the soils are qualified by a “too much”, 20.88% “excess” and almost 8% of them not have enough P. It can be understood from Figure 7, only 15.47% of them are characterized by “enough”. Therefore, it can be understood easily, there is not any standard about using phosphorus-containing fertilizer. It also points to the use of fertilizers beyond measure to increase productivity.

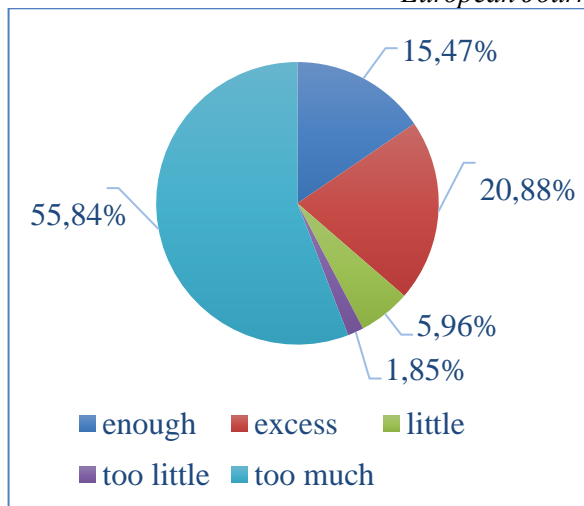


Figure 7. The evaluation of P

Figure 8 and 9 show variations of P concentrations ( $\text{kg da}^{-1}$ ) at districts and years, respectively.

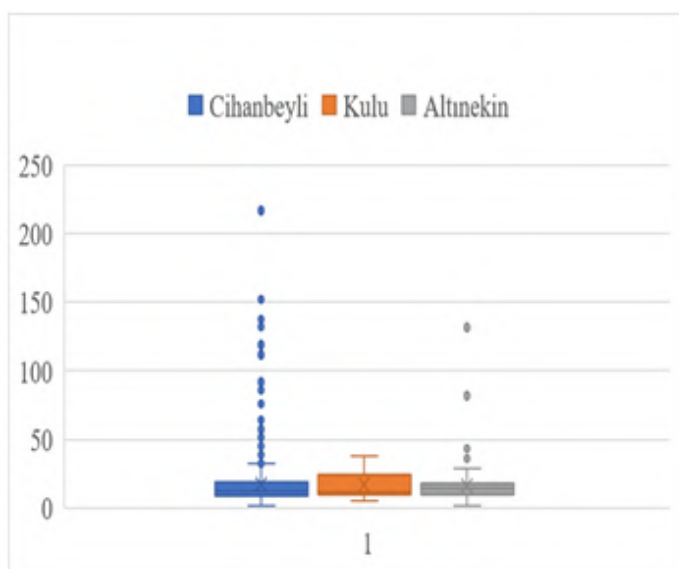


Figure 8. Variations of P concentration at districts

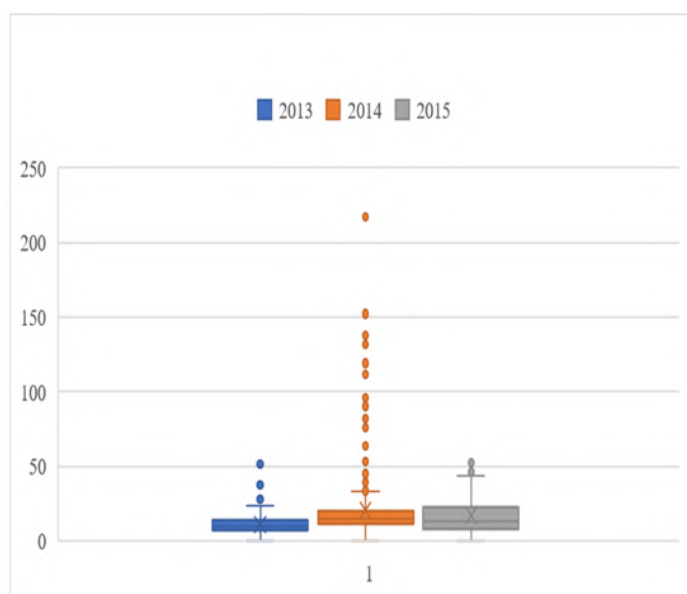


Figure 9. Variations of P concentration at years

It is necessary to check the normality of the data sets to determine whether the phosphorus concentrations show significant changes according to the districts and years. Therefore, firstly, it was determined whether the dataset has normal distribution or not.

### 3.3. Shapiro–Wilk Test Results

The distribution of the phosphor amount of soil was detected by the Shapiro–Wilk test. Since  $D(2149) = 0.054$  and  $p = 0.000 < 0.05$  (significance level) it can be understood that the data set do not distributed normally (see histogram of P in Figure 10).

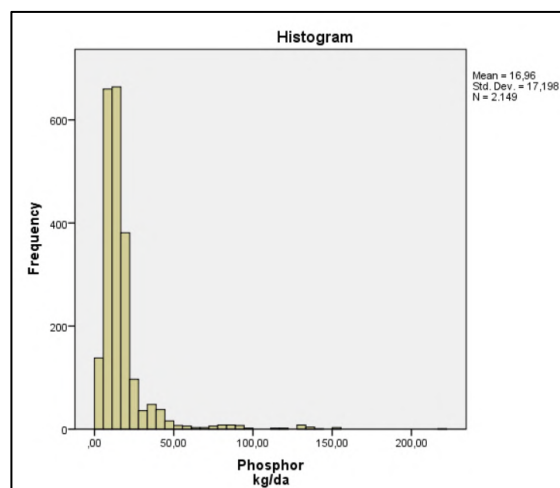


Figure 10. The histogram of the P

### 3.4. Kruskal–Wallis Test Results

Since data set do not fulfill the normal distribution condition, a nonparametric test called Kruskal–Wallis test was used to test the null hypothesis that data sets have equal distribution functions versus to the alternate hypothesis that at least two of the data sets have different distribution functions.

In the relation “phosphor amount of soil versus province”, p value is equal to 0.882, with Chi-squared equal to 0.251 and degrees of freedom equal to 2. Since p value was higher than the significance level 0.05, it is assumed that there are no significant differences between phosphor amount of soil on the subject to province. These results indicate that the problem of excess fertilizer use is valid for all three districts.

In the relation “phosphor amount of soil versus years”, p value is equal to 0.000, with Chi-squared equal to 363.174 and degrees of freedom equal to 2. Since p value was lower than the significance level 0.05, it is assumed that at least two of the data sets have different distribution functions on the subject to years.

### 3.5. Mann Whitney U Test Results

Mann Whitney U test was applied to the data for 2013 and 2014, 2013 and 2015 and 2014 and 2015 to find out between which years there was a significant difference. Since each has its own alpha error percentage ( $\alpha$ ), Bonferroni correction is made and the value of 0.05 is divided into three and the p value is compared with 0.0167. If p is lower than the 0.0167, the hypothesis which assumes that there is a meaningful difference between two years is accepted. According to the results of test, there is a significant difference between the P concentrations of 2013 and 2014 ( $U =$

254065.50  $p = 0,000 < 0.0167$ ,  $z = -19.104$ ,  $r = -0.41$ ). Since the effect coefficient  $r = -0.41$  is close to 0.5, the effect coefficient is considered large. Similarly, a significant difference was found between 2013 and 2015. ( $U = 14280$   $p = 0,000 < 0.0167$ ,  $z = -3.591$ ,  $r = -0.12$ ). The effect coefficient  $r = -0.12$  is considered small. The result of the test of 2014 and 2015 showed that there is not a significant difference in P concentrations between these years ( $U = 29791$   $p = 0,054 > 0.0167$ ,  $z = -1.928$ ,  $r = -0.051$ ).

The mean rank values of 2013 and 2014 (715.05 and 1239.76 respectively) and the mean rank values of 2013 and 2015 (401.19 and 521.54 respectively) showed that the P concentrations in 2014 and 2015 were higher than 2013.

The fact that the data belonged to 5 years ago may suggest that the detected problem may have been outdated, but reports show that there has been no decreasing in the amount of using phosphorus-containing fertilizers since 2013. According to the Provincial Environmental Status Reports for 2013 and 2018, the amount of P used on the basis of plant nutrients increased by 37.08%, while the increase in the total area cultivated using commercial fertilizers in the province was 16.27% between these years (Ministry of Environment and Urbanization 2013; Ministry of Environment and Urbanization 2018). Thus, we can say that excessive and unconscious fertilizer use is still a current problem.

### 3.6. Current and Ideal Fertilizer Comparison

It was examined that the appropriate fertilizer usage how could affect the level of P which could reach to the water resources. The P values according to the fertilizer which most cultivated crops require were assigned utilizing the amount of  $P_2O_5$  used for each crop per year / per decare (Kacar and Katkat, 1997). Current mean P values, ideal P values and cultivated areas are given in Table 1. The possible change of P amount can be seen based on products and in total in Figure 11. The results showed that if ideal fertilizer is used, the total amount of P can decrease by 46%. Considering the study area of 78 520 da, this change was calculated as 7.70 kg per decare.

Table 1. Current mean P values, ideal P values and cultivated areas

Crop Type	Current Mean P (kg da <sup>-1</sup> )	Ideal Mean P (kg da <sup>-1</sup> )	Area (da)
wheat dry	16.28	5.50	11 596.80
wheat irrigated	16.19	7.00	11 464.60
wheat undefined	17.45	6.25	6 627.80
barley	21.32	6.50	6 964.53
beet	14.30	6.50	5 436.10
sunflower	13.97	6.50	1 1529.66
maize	16.27	5.50	4 710.00
safflower	12.66	4.00	2 847.66
oat	14.24	6.00	1 457.23
cumin	16.66	6.50	1 401.55

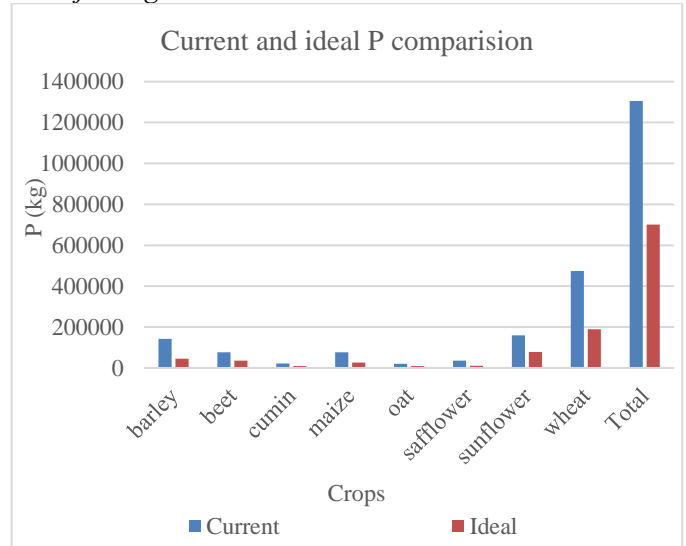


Figure 11. The possible change of the P amount

### 3.7. Different Product Suggestion

A different scenario was applied to determine that the cultivation of a different product which needs less fertilizer how may affect the contamination level of the water resources. For this purpose, safflower was determined as alternative product due to its some important features.

Colorful flowers of safflower are used in food and fabric dye. Safflower oil is good quality as edible oil and can also be used in biodiesel production. Also, its pulp can be considered as animal feed (Babaoglu, 2006a). All the tools and equipment used in wheat-barley agriculture can also be used in the agriculture of this plant. Furthermore, the Ministry of Agriculture thinks that safflower agriculture should be expanded in our country to meet our edible oil needs and to produce biodiesel from vegetable oils. It is also emphasized by the Ministry that it is a plant that can be grown in almost every part of our country, especially in idle areas, due to its drought resistance. In addition, it is stated that every plant that processes sunflower in our country will be able to easily process safflower seeds into oil without using any additional machinery, without making any changes (Babaoglu, 2006b). For this reason, when safflower is grown instead of barley, it is thought that there will be no economic loss.

Hence, a different scenario was tried out to decrease the pressure on water source and change in the total amount of P was examined in the event of planting the safflower instead the barley, requires more P fertilizers than safflower and used same planting equipment as safflower while cultivating. The results to be obtained when planting safflower by using ideal fertilizer in half of the area where barley cultivation is made in 6964.53 decare can be seen from Table 2. Total amount of P caused by barley land has decreased by 40.62% and it has been 4.62% the reflection of this decrease to the general amount of P.

Table 2. Possible change of P amount when safflower with ideal fertilizer is planted in half of the barley field

Product	Mean P (kg da <sup>-1</sup> )	Total P (da)	Total Area (kg)
barley	21.32	6964.53	148471.01
↓			
barley	21.32	3482.27	74235.50
safflower	4.00	3482.27	13929.07
% decrease in total amount of P in barley land			40.62
% decrease in general amount of P			4.62

Possible changes in the amount of P when ideal amount of fertilizer is used in both barley and safflower are given in Table 3. The reduction in the amount of P, which is 40% if the ideal fertilizer is only used in safflower cultivation, has reached 75% when the ideal amount of fertilizer is used in both products. The effect of this decrease to the total amount of P is 8.57.

Table 3. Possible change of P amount when both safflower and barley are planted with ideal fertilizer

Product	Mean P (kg da <sup>-1</sup> )	Total P (da)	Total Area (kg)
barley	21.32	6964.53	148471.01
↓			
barley	6.50	3482.27	22634.73
safflower	4.00	3482.27	13929.07
% decrease in total amount of P in barley land			75.37
% decrease in general amount of P			8.57

In addition, 40.10% decrease in total amount of P in the case of cultivation of safflower by using ideal fertilizer in half of the fallow lands that have high P content as a result of excessive fertilization during the cultivation period can be seen in Table 4. This declining affects the total amount of P by 6.71%.

Table 4. Possible change of P amount when safflower with ideal fertilizer is planted in half of the fallow field

Product	Mean P (kg da <sup>-1</sup> )	Total P Area (da)	Total P from Fallow (kg)
fallow	20.20	10813.46	218406.75
↓			
fallow	20.20	5406.73	109203.38
safflower	4.00	5406.73	21626.92
% change in total amount of P in fallow land			40.10
% decrease in general amount of P			6.71

## 4. Conclusions and Recommendations

Turkey has different land structures in different regions. Therefore, the soil structure should be well known in order to determine the type of product that can be grown in the region with maximum efficiency. It is necessary to raise the awareness of farmers about whether soil properties are suitable for the product grown. Moreover, farmers should be informed to prevent the negativities in the soil caused by wrong practices.

Results showed that unconscious excess fertilizer is used during planting. While chemical fertilizer causes significant increases in agricultural production, on the other hand, it causes environmental problems arising from agricultural production. To change this case, knowledge of producers about appropriate planting, sufficient fertilization, spraying and irrigation should be increased. The use of organic fertilizers should be expanded and the development and use of fertilizer varieties suitable for country conditions should be encouraged.

In Turkey, owing to lack of research of alternate agricultural products for the market and uncertainty in crop prices, the farmers, with the penetration of habit, prefer to cultivate crops which the government gives the guarantee of market. For this reason, by choosing a product that is compatible with farmer habits and without economic losses, the positive effect on water resources has been investigated. Results showed that cultivation of an alternative crop with appropriate fertilization can decrease the P amount which will reach the water resources with surface water and precipitation.

## 5. Acknowledge

The data used in this study is obtained from a certified laboratory inspected by the Ministry of Agriculture.

## References

- Babaoğlu, M. (2006a). Safflower plant and cultivation. Technical report, Republic of Turkey Ministry of Agriculture and Forestry Directorate of Trakya Agricultural Research Institute. <https://arastirma.tarimorman.gov.tr/ttae/Sayfalar/Detay.aspx?SayfaId=59> (Accessed 1 March 2020).
- Babaoğlu, M. (2006b). History of the safflower plant in the world and Turkey, Uses and Its Importance. Technical report, Republic of Turkey Ministry of Agriculture and Forestry Directorate of Trakya Agricultural Research Institute. <https://arastirma.tarimorman.gov.tr/ttae/Sayfalar/Detay.aspx?SayfaId=58> (Accessed 1 March 2020)
- Baize, D. (2000). Guide des analyses a pedology: choix, expression, presentation, interpretation. 2e ed, INRA- Paris.
- Blake, L., Mercik, S., Koerschens, M., Moskal, S., Poulton, P. R., Goulding, K. W. T., ... & Powelson, D. S. (2000). Phosphorus content in soil, uptake by plants and balance in three European long-term field experiments. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 56(3), 263-275.
- Bozyiğit, R. (2020). Seydikemer ilçesi (Muğla) topraklarının özellikleri ve kullanımı üzerine bir değerlendirme. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 695-706.
- Dinon, E. (2015). Gerstmans. *African Crop Science Journal*, 23, 101-111.

- Dungait, J. A., Cardenas, L. M., Blackwell, M. S., Wu, L., Withers, P. J., Chadwick, D. R., ... & Goulding, K. W. (2012). Advances in the understanding of nutrient dynamics and management in UK agriculture. *Science of the Total Environment*, 434, 39-50.
- Environment Agency, (2007) Diffuse water pollution in England and Wales report. Technical report, *Foundation for Water Research*.
- [http://www.fwr.org/WQreg/Appendices/EA\\_Diffuse\\_Pollution\\_Report\\_geho0207bzlvee\\_1773088.pdf](http://www.fwr.org/WQreg/Appendices/EA_Diffuse_Pollution_Report_geho0207bzlvee_1773088.pdf) (Accessed 1 March 2020).
- Goulding, K., Jarvis, S., & Whitmore, A. (2008). Optimizing nutrient management for farm systems. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 363(1491), 667-680.
- Johnston, A. E., & Dawson, C. J. (2005). Phosphorus in agriculture and in relation to water quality. *Agricultural Industries Confederation*.
- Kacar, B., Katkat, V. (1997) Phosphorous in Agriculture. 2nd ed., Bursa Chamber of Commerce Publications, Bursa. (in Turkish)
- Kruskal, W. H., & Wallis, W. A. (1952). Use of ranks in one-criterion variance analysis. *Journal of the American statistical Association*, 47(260), 583-621.
- Laudicina, V. A., Novara, A., Barbera, V., Egli, M., & Badalucco, L. (2015). Long-term tillage and cropping system effects on chemical and biochemical characteristics of soil organic matter in a Mediterranean semiarid environment. *Land Degradation & Development*, 26(1), 45-53.
- Li, N. X., Xu, J. F., Yin, W., Chen, Q. Z., Wang, J., & Shi, Z. H. (2020). Effect of local watershed landscapes on the nitrogen and phosphorus concentrations in the waterbodies of reservoir bays. *Science of The Total Environment*, 716, 137132.
- Mann, H. B., & Whitney, D. R. (1947). On a test of whether one of two random variables is stochastically larger than the other. *The annals of mathematical statistics*, 50-60.
- Ministry of Agriculture and Forestry (2018). Fertilizer Sector Policy Document 2018-2022. <https://www.tarimorman.gov.tr/TAGEM/Belgeler/yayin/G%C3%BCbre%20Sekt%C3%B6r%20Politika%20Belgesi%202018-2022.pdf>. (Accessed 1 March 2020).
- Ministry of Environment and Urbanization (2013). Konya provincial environmental status report. [https://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/editorosya/Konya\\_icdr2013.pdf](https://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/editorosya/Konya_icdr2013.pdf). (Accessed 10 March 2020).
- Ministry of Environment and Urbanization (2018). Konya provincial environmental status report. [https://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/icerikler/konya\\_cdr\\_2018\\_rev-ze-20190808113124.pdf](https://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/icerikler/konya_cdr_2018_rev-ze-20190808113124.pdf). Accessed 10 March 2020.
- National Oceanic and Atmospheric Administration (2008). Nonpoint Source Pollution: Pollutants from Nonpoint Sources: Nutrients. <https://oceanservice.noaa.gov/education/kits/pollution/04nonpointsource.html> (Accessed 1 July 2019).
- Nixon, S. W., Ammerman, J. W., Atkinson, L. P., Berounsky, V. M., Billen, G., Boicourt, W. C., ... & Seitzinger, S. P. (1996). The fate of nitrogen and phosphorus at the land-sea margin of the North Atlantic Ocean. *Biogeochemistry*, 35(1), 141-180.
- Ozturk, I., Tanik, A., Cokgor, E., Gurel, M., Mantas, E., Insel, G., & Ozabali, A. (2007). Watershed protection action plan, final report, Greater Istanbul Water Supply Melen System II. Stage Buyuk Melen Watershed integrated protection and water management master plan, Istanbul Technical University. *Environmental Engineering Department, Istanbul*.
- Ozalp, D. (2009). Determination of Diffuse Pollutant Sources and Management Recommendations in The Eastern Black Sea Basin. Thesis, Istanbul Technical University, Istanbul, Turkey.
- Shapiro, S. S., & Wilk, M. B. (1965). An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika*, 52(3/4), 591-611.
- Ugurloğlu, A. (2009). Estimation of N and P Loads Coming from Distributed Sources to Water Sources in Case of Limited Data: Example of Çoruh Basin. Thesis, Istanbul Technical University, Istanbul, Turkey.
- US Dept of State Geographer (2020). Google Image Landsat/Copernicus, Data SIO, NOAA. US Navy, NGA GEBCO



# Brain Tumor Detection using a Combination of Bayesian Optimization Based SVM Classifier and Fine-Tuned Based Deep Features

Muammer Türkoğlu<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> Samsun University, Faculty of Engineering, Department of Software Engineering, Samsun, Turkey, (ORCID: 0000-0002-2377-4979),  
[muammer.turkoglu@samsun.edu.tr](mailto:muammer.turkoglu@samsun.edu.tr)

(First received 7 July 2021 and in final form 9 September 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.963609)

**ATIF/REFERENCE:** Turkoglu, M. (2021). Brain Tumor Detection using a Combination of Bayesian Optimization Based SVM Classifier and Fine-Tuned Based Deep Features. *European Journal of Science and Technology*, (27), 251-258.

## Abstract

Brain tumor, one of the most common types of cancer, is a fatal disease. Therefore, accurate diagnosis of this disease and determining the type of tumor are of great importance in terms of early treatment. In this context, research, and interest in the development of automatic systems for the problems experienced in brain tumor classification, based on deep learning, have increased recently. In this study, a unique framework is proposed, which is based on Bayesian optimization-based Support Vector Machine (SVM) classifier and Convolutional Neural Network (CNN) based deep features ensemble, for the classification of brain tumors. In this model, brain MRI images are first improved. Second, the deep features are extracted using pre-trained CNN-based deep architectures and then combined. Later, effective, and distinctive features are selected from these deep features with the MrMr algorithm. Finally, these features are used in the training of the SVM classifier based on the Bayesian optimization algorithm. A dataset named Figshare, containing brain tumor images such as meningioma, glioma, and pituitary, is used to test the proposed system. In the experimental studies, the accuracy score of the model proposed was observed to be more successful than that of the other studies.

**Keywords:** Brain Tumor Classification, Feature selection, Convolutional Neural Network, Support Vector Machine, Bayesian optimization

## Bayes Optimizasyon Tabanlı SVM Sınıflandırıcı ve İnce-Ayar Tabanlı Derin Özelliklerinin Kombinasyonu Kullanılarak Beyin Tümörü Tespiti

### Öz

En sık görülen kanser türlerinden biri olan beyin tümörü ölümcül bir hastalıktır. Bu nedenle bu hastalığın doğru teşhisi ve tümörün tipinin belirlenmesi erken tedavi açısından büyük önem taşımaktadır. Bu bağlamda, son zamanlarda beyin tümörü sınıflandırmasında yaşanan problemler için derin öğrenmeye dayalı otomatik sistemlerin geliştirilmesine yönelik araştırmalar ve ilgi artmıştır. Bu çalışmada, beyin tümörlerinin sınıflandırılması için Bayesian optimizasyon tabanlı Destek Vektör Makinesi (DVM) sınıflandırıcısı ve Evrişimsel Sinir Ağı (ESA) tabanlı derin özellikler topluluğuna dayalı benzersiz bir tasarım önerilmiştir. Bu modelde öncelikle beyin MRI görüntüleri iyileştirildi. İkinci olarak, derin özellikler, önceden eğitilmiş ESA tabanlı derin mimariler kullanılarak çıkartıldı ve ardından birleştirildi. Daha sonra, MrMr algoritması ile bu derin özelliklerden etkili ve ayırt edici özellikler seçildi. Son olarak, bu özellikler, Bayes optimizasyon algoritmasına dayalı DVM sınıflandırıcısının eğitiminde kullanıldı. Önerilen sistemi test etmek için, menenjiom, glioma ve hipofiz gibi beyin tümörü görüntülerini içeren Figshare adlı bir veri seti kullanıldı. Deneysel çalışmalarda, önerilen modelin doğruluk skoru diğer çalışmalardan daha başarılı olduğu gözlemlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Beyin Tümör Sınıflandırılması, Özellik Seçimi, Evrişimsel Sinir Ağları, Destek Vektör Makinesi, Bayes Optimizasyon.

\* Corresponding Author: [muammer.turkoglu@samsun.edu.tr](mailto:muammer.turkoglu@samsun.edu.tr)

## 1. Introduction

Worldwide, the number of deaths from brain tumors is increasing day by day (Ari, 2019). A brain tumor can be categorized into one of two types, benign or malignant. Early diagnosis of brain tumors and determination of the tumor type are critical for increasing survival rates and effective treatment options (Afshar et al., 2019).

Magnetic Resonance Imaging (MRI) is an important medical imaging tool for the detection of brain tumor (Amin et al., 2019; Amin et al., 2020). Determination of the type and detection of tumors using MRI devices is performed by experts. This identification process is a time-consuming process and entails a high margin of error. The reason for this is that tumors have different shapes and sizes, and they can also be found in different parts of the brain. In addition, manual detection of brain tumor is not a practical method in cases where the number of patients is high. For all these reasons, there is a need for automatic detection of brain tumors. Recently, systems developed to meet this need based on computer vision and machine learning are on demand. Thanks to computer-aided systems that help experts, accurate and rapid diagnosis of brain tumors has been achieved (Ari, 2019).

In recent years, many studies have been performed for classification of the brain tumor based on MRI images. In these studies, CNN-based deep learning models, and machine learning methods were widely used. In this regard, Ali et al. (2020) proposed a model based on pre-trained deep architectures and ELM classifier for brain tumor classification. In this study, deep features are extracted using the fc6 and fc7 layers of AlexNet and VGG16 models. Later, these feature vectors were used for classification of MR images with the help of Extreme Learning Machines (ELM) classifier. They reported a highest accuracy score of 97.64%. Similarly, Rehman et al. (2020) developed a deep learning-based framework using transfer learning method for classification of brain tumors. In line with this purpose, they used three architectures of convolutional neural networks (AlexNet, GoogLeNet, and VGGNet). In addition, the dataset was expanded using data augmentation methods. They achieved a highest accuracy score of 98.69% using the fine-tune VGG16 architecture. Cheng et al. (2016) proposed a unconventional feature extraction framework to enhance the classification performance. They extracted features using Adaptive Spatial division and Fisher Vector Representation. Later, SVM classifier was used for training the model proposed and the performance of the system was calculated. In this study, mean precision value was obtained as 94.68%. Abir et al. (2018) developed a system based on pre-processing methods and GLCM (Gray Level Co-occurrence Matrix) to extract the feature values. The features obtained were used as the input of a PNN classifier and the performance of the system proposed was calculated. In this study, the highest accuracy score was obtained as 83.33%. Finally, Afshar et al. (2018) used Capsule networks (CapsNets) for the problem encountered in classification of brain tumor type. They made investigations to increase the accuracy by changing the number of feature maps in the convolutional layer of the Capsule network. The results of this study show that the

method proposed achieved an accuracy score of 86.56%. Additionally, other previous studies used the Figshare dataset are summarized in the Discussion section.

In this paper, a unique Bayesian optimization based deep classifier approach is proposed for classification of brain tumors. Firstly, image enhancement techniques were used in the system proposed. Later, deep features were extracted from brain tumor images using pre-trained deep architectures based on the transfer learning approach. Effective and distinctive features were selected using MrMr method for these representative features. Finally, parameters that had the best performance of the SVM classifier based on the Bayesian optimization method were determined and the training and testing phases of the system proposed were carried out. A brain tumor dataset named Figshare (Cheng, 2018) was used to evaluate the performance of the system proposed.

The main contributions of this study are as follows:

- The proposed model used classification capabilities of features obtained from the last fully connected layers of pre-trained deep architectures: AlexNet, and DenseNet201.
- The current study adapted the MrMr feature selection algorithm in order to both reduce the dimension of the features obtained from pre-trained deep networks and reveal the best effective deep features. In experimental studies, a high success diagnosis model has been achieved by using these selected and effective features for brain tumor MRI classification.
- The deep features obtained from pre-trained CNN networks were fed into an SVM, and the best SVM classifier parameters have been optimized using the Bayesian optimization method. Thanks to this approach, the highest performance has been achieved as 98.04% for the SVM classifier based on selected features in classifying brain tumors.

The remaining part of this paper is structured as follows: the proposed approach is presented in Section 2, while the dataset and the experimental results are detailed in Section 3. The discussion of the results is given in Section 4, and the conclusion of the current research is outlined in Section 5.

## 2. Proposed Methodology

In this paper, a unique system that is based on selected deep features and Bayesian optimization based SVM classifier is proposed for classification of brain tumors. Extensive experimental studies were carried out for the determination of feature selection and classifier parameters. In addition, the well-known CNN architectures were examined to identify the effects on the classification performance. Finally, a brain tumor dataset named Figshare, which is widely used in the literature, was used in experimental studies, and the accuracy scores were used for evaluation of the performance of the system proposed. The flowchart of the system proposed is presented in Fig. 1.

The proposed system incorporates four phases: pre-processing, feature extraction, feature selection and classification. These stages are detailed below under subheadings.

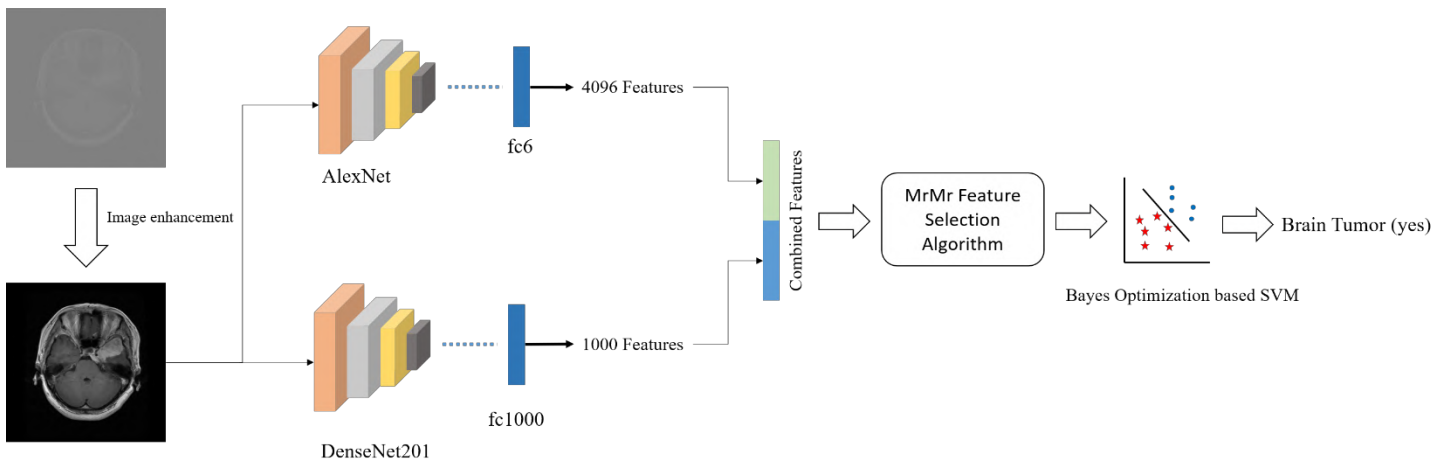


Figure 1 Flowchart of proposed model

2.1. Pre-processing Phase

In the pre-processing phase, brain MRI images are enhanced using max-min algorithm (Algorithm 1). Thus, an MRI image with a black background and a more prominent edge was obtained. Procedure of the proposed pre-processing phase is shown in Algorithm 1.

Algorithm 1. The pseudo-code of the proposed pre-processing.

```

Input: Input image (img) with size of K x L
Output: Output images (new_img)
1: minX= min(min(img));
2: maxX= max(max(img));
3: for i=1 to length(K) do
4:   for j=1 to length(L) do
5:     img1(i,j)=(img(i,j)-minX) / (maxX-minX);
6:   end
7: end
8: new_img = cat(3, img1, img1, img1);
    
```

2.2. Feature Extraction Phase

In feature extraction phase, pre-trained architectures based on transfer learning were used for recognition of Brain MR images. The transfer learning approach is the adaptation of pre-trained CNN-based deep architectures that use the learned weights to solve another problem. In this study, AlexNet, and DenseNet201 architectures, which are pre-trained CNN models with different characteristics, were used. The characteristics of these architectures are presented in Table 1.

Table 1. The characteristics of the deep architectures

Name	Depth	Size (MB)	Parameters (Millions)
AlexNet (Krizhevsky et al., 2012)	8	227	61
DenseNet201 (Huang et al., 2018)	201	77	20

These architectures shown in Table 1 were trained using the ImageNet dataset that had a very large collection of annotated images designed for developing machine learning methods. AlexNet architecture developed by Krizhevsky et al. consists of 25 layers: convolution, pooling layer, ReLU layer, and fully

connected layer. The general structure of this architecture is shown in Fig. 2.

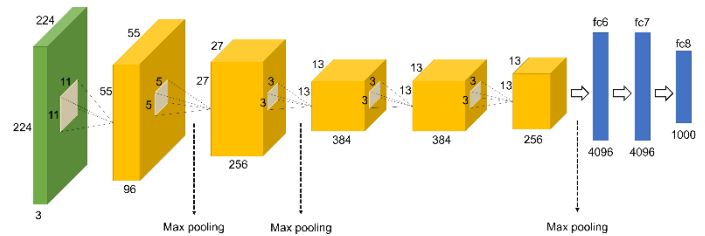


Figure 2 The structure of AlexNet architecture

The DenseNet network architecture is that the features obtained from the previous layers are directly combined with much more advanced layers (Fig. 3). Thus, the features obtained in the first layers are protected. The DenseNet201 network which one of the versions of this new approach has become a high-performance and multi-layer network model (Huang et al., 2018).

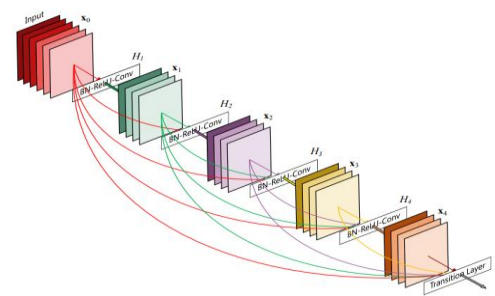


Figure 3 Inter-connection model of DenseNet (Huang et al., 2018) architecture

In this study, 4096, and 1000 deep features were extracted from fully connected layers of AlexNet, and DenseNet201 architectures, respectively. Then, deep features obtained from deep architectures with different structures were combined. Procedure of the proposed feature extraction phase is shown in Algorithm 2.

2.3. Feature Selection Phase

In feature selection phase, it is an important process to select the best feature subset from feature vectors for overcoming classification problems. The feature selection process has an important advantage of reducing the processing



time by decreasing the number of features (Yaslan & Cataltepe, 2009; Demir et al., 2020). In this study, it is aimed to determine better and distinctive features from combined deep features obtained during the feature extraction stage by using MrMr algorithm. This MrMr method is a filtering algorithm that tries to select the most relevant attributes with the class tags, while minimizing the redundancy between the selected attributes, simultaneously (Yaslan & Cataltepe, 2009; Gulgezen et al. 2009; Toğaçar et al., 2020a).

Algorithm 2. The pseudo-code of the proposed feature extraction.

<b>Input:</b> Input image (img) with size of K x L x 3
<b>Output:</b> Deep features (feat)
1: img1=imresize (img, [224 224]);
2: img2=imresize (img, [227 227]);
3: Net_Parameters1= load_model (AlexNet, pretrained=true);
4: Net_Parameters2= load_model (DenseNet201, pretrained=true);
5: Features1 = activations (Net_Parameters1, img2, 'fc6');
6: Features2 = activations (Net_Parameters2, img1, 'fc1000');
7: feat= [ Features1; Features2];

The MrMr based feature selection method used in this study are includes 2 basic steps. There: (1) The weights of the deep features are calculated, (2) sort weight scores, and select features as much as specific t value. The selection procedure including these steps is demonstrated in Algorithm 3.

Algorithm 3. The pseudo-code of the proposed feature extraction.

<b>Input:</b> Deep features (dfeat), label (lab), and t value (selected features)
<b>Output:</b> Selected features (feat)
1: w= fscmr (dfeat,lab);
2: for i=1 to t do
3: feat(:,i)=dfeat(:,w(i));
4: end for i

### 2.3. Classification Phase

In classification phase, SVM classifier was used for training of selected deep features. SVM method is a statistical algorithm used in classification problems (Cortes & Vapnik, 1995). This method places the features on the coordinate plane and then performs the classification process by selecting the best hyperplane that can distinguish the two classes. Hyperplane parameters with two variables such as weight vector (w) and trend value (b) are adjusted to maximize symmetrical spacing between classes (Turkoglu & Hanbay, 2019). The working principle of the SVM classifier is shown in Fig. 4.

Equation (1) aims to minimize the problems arising during the classification process. In Equation (2),  $x_i$  ve  $y_i$  represent features. This equation makes an estimate to determine the class of data (Cortes & Vapnik, 1995; Turkoglu, 2020; Toğaçar et al., 2020b).

$$\min \frac{1}{2} \|w\|^2 \tag{1}$$

$$y_i(w^T \cdot x_i + b) \geq 1, i = 1, \dots, n \tag{2}$$

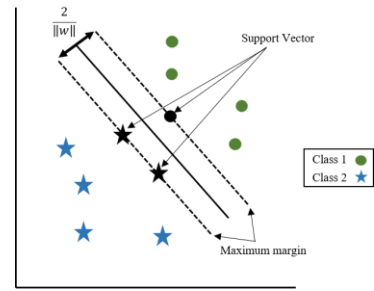


Figure 4 General structure of SVM classifier (Turkoglu, 2020)

In this study, the SVM classifier was preferred due to the fact that it is easy to apply, has high generalization performance, and is effective in high dimensional feature vectors. Additionally, the SVM method includes parameters such as Box constraint level, Kernel scale, and Kernel Function. The change in these parameter values significantly affects the classification performance. For this reason, it is aimed to select the best performance parameters of the SVM classifier by using Bayes optimization method (Pelikan et al., 1999), which is widely used and is faster than other optimization methods. A sample demonstration of these operations shown in Fig. 5.

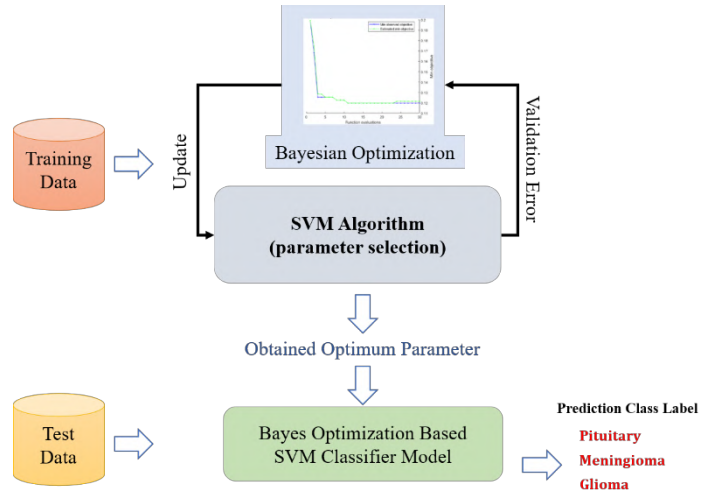


Figure 5 Bayes optimization based SVM classifier model

As can be understood from Fig. 5, the best parameters of the Bayes optimization based SVM classifier were selected for the training set and the performance of the system proposed for the test set was calculated using these parameters. In current study, the optimized hyperparameters and hyperparameters search ranges of SVM classifier based on Bayesian optimization are listed in Table 2. Additionally, the MATLAB Classification Learner toolbox is used for the application of Bayesian and SVM methods.

Table 2. The optimized hyperparameters and search ranges

Kernel function	Box constraint level	Multiclass method	Standardize data
Gaussian Linear Quadratic Cubic	[0.001-1000]	One-vs-One One-vs-All	true / false

### 3. Experimental Studies

The Bayesian optimization based deep classifier proposed in this study was created using MATLAB software. In the experimental studies, a computer with a Nvidia M4000 GPU with 8 GB of memory was utilized. Additionally, using the random separation approach, 80% of the data was used for training and the rest for testing. This procedure was repeated only once, and the same training/test sets were used in all experimental studies. The code of the proposed model was shared at <https://github.com/mturkoglu23/Brain-Tumor-Detection>.

The experimental results and dataset are explained in the following subsections.

#### 3.1. Dataset

In this paper, publicly available brain tumor dataset named Figshare (Cheng, 2018) was used. This dataset, developed by Cheng in 2017, contains 3064 brain MRI images. In addition, Figshare dataset includes three types of brain tumors namely pituitary, meningioma, and glioma. These brain tumor types are illustrated in Fig. 6.

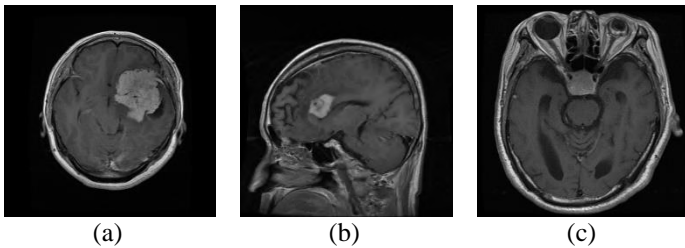


Figure 6 Types of Brain Tumors, a) Meningioma, b) Glioma, c) Pituitary.

#### 3.2. Results

In this section, pretrained CNN models are adapted to the classification of brain tumors using a fine-tuning based on the transfer learning approach. The fine-tuning method is focused on the transfer of new layers to our classification mission, instead of the last three layers of the pre-trained networks. These layers are a fully connected, a softmax, and a classification. In this study, accuracy scores were calculated using this approach for AlexNet, and DenseNet201 architectures. The network parameters used for these deep architectures are given in Table 3. Accuracy scores achieved from this experimental works are shown in Table 4.

Table 3. The deep network parameters used in current study.

Mini-batch size	:	8
Maximum epoch number	:	10
Weight decay factor	:	0.01
Initial learning rate	:	0.001
Optimization method	:	SGDM (Stochastic Gradient Descent with Momentum)

Table 4. Accuracy scores (%) of fine-tuned deep architectures

AlexNet	DenseNet201
92.17	89.72

As is apparent from Table 4, the highest accuracy score between deep architectures based on fine-tuning process was 92.17% with the AlexNet architecture. In addition, the accuracy score of DenseNet201 architecture was obtained as 89.72%. As another experimental work, features were extracted from fully connected layers of these deep architectures, and then deep features were fed into an SVM classifier. The confusion matrixes (accuracy scores) achieved from this experimental works are given in Figure 7.

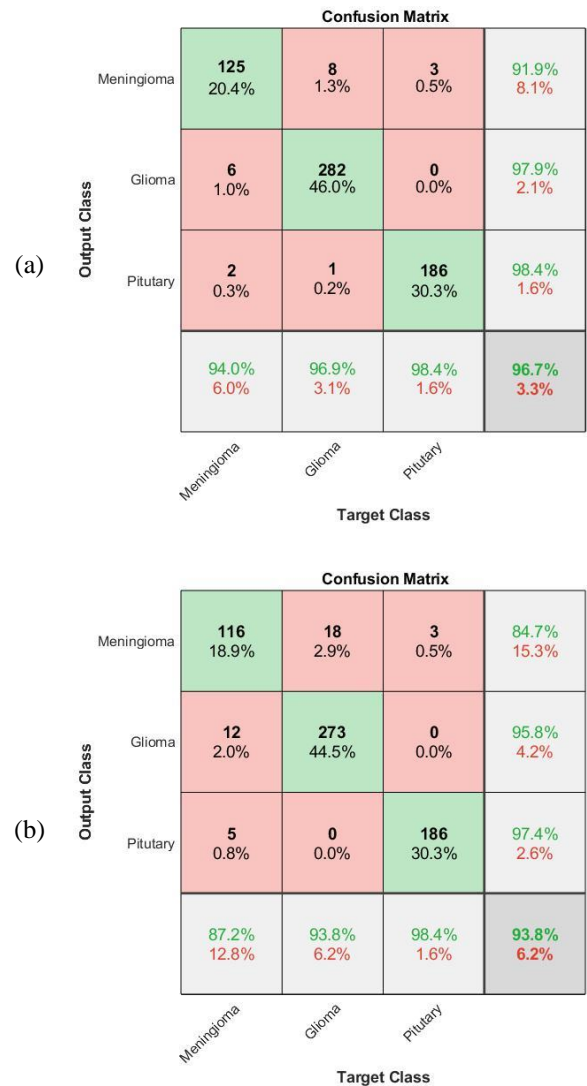


Figure 7 Confusion matrix of deep models, a) AlexNet, b) DenseNet201

As can be seen in Figure 7, the highest accuracy score between deep architectures based on deep feature extraction approach was 96.74% with the AlexNet architecture. In addition, the accuracy score of DenseNet201 architecture was obtained as 93.8%. According to the results given in Table 4 and Figure 7, performance results based on deep features and SVM classifier for all deep architectures is more successful than fine-tuning. For these reasons, deep feature extraction and SVM approaches used in the remainder of the study.

In the second experiment, combinations of AlexNet, and DenseNet201 deep architectures were evaluated. In accordance with this purpose, features obtained from deep architectures were combined, and their performances were calculated using an SVM classifier. The analysis results of the combined deep features are given in Figure 8. According to these results, the

highest accuracy score among combined deep networks was achieved as 97.39% using a combination of AlexNet, and DenseNet201 architectures. In addition, the accuracy score of combined deep networks was a 1% performance increase from the AlexNet architecture which has the highest performing. As a result, the combined method used in the second experiment improved the accuracy score of the individual deep architecture. The confusion matrixes for the combined deep networks are shown in Fig. 8.

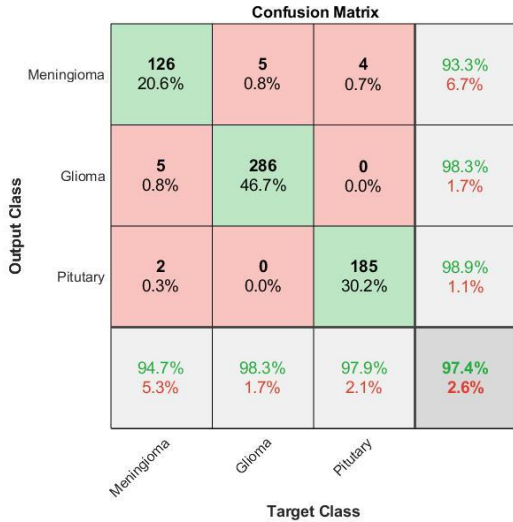


Figure 8: Confusion matrix of combined deep models

In the last experimental study, a combination of selected deep features and Bayesian optimization based SVM classifier is proposed for the classification of brain tumors. In line with this purpose, features were obtained from deep architectures with different structures, and then these deep features were combined. More meaningful and effective features were selected from the combined features obtained using MrMr method and trained with Bayes optimization based SVM model. Consequently, the performance of the features selected in different numbers were calculated, and these results are presented in Fig. 9.

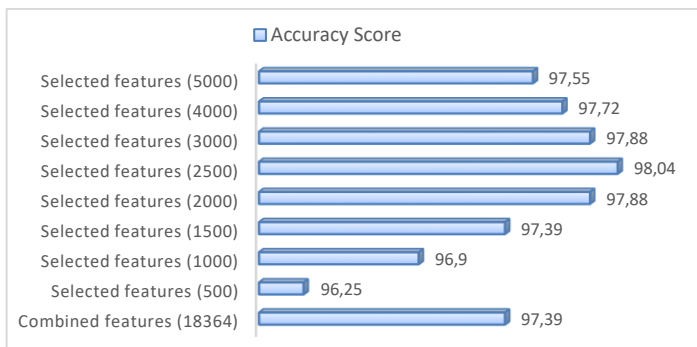


Figure 9 The accuracy scores of selected combined deep features

As can be understood from Fig. 9, the distinguishing features (except for 500 and 1000 selected features) selected using MrMr algorithm are observed to be more successful than the raw features. Moreover, the 500 features obtained from the combined deep properties have the worst accuracy at 96.25%. The best accuracy score of the model proposed based on MrMr algorithm for classifying brain tumors was achieved as 98.04% as selected 2,500 effective features. Additionally, 2000, and 3000 most relevant features selected from deep features have approximately the same accuracy. The confusion matrix of the

best performance (98.04%) for the model proposed are shown in Fig. 10.

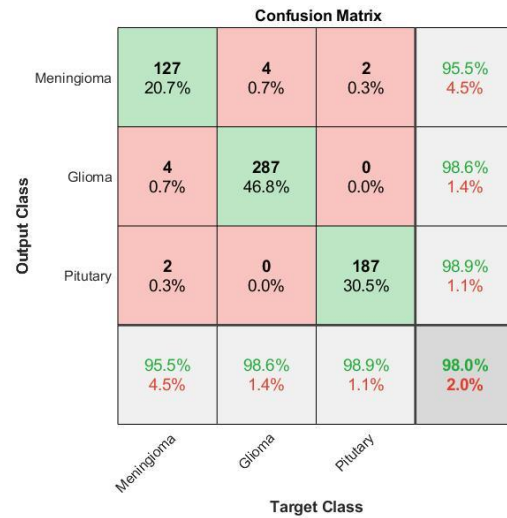


Figure 10 Confusion matrix and ROC curve of best accuracy score obtained from proposed model

In the proposed model, the highest performance (98.04% - 2500 deep features) using the Bayesian optimization method for SVM classifier was achieved with kernel function (Cubic), box constraint level (244.4749), and multiclass method (one-vs-all). The minimum classification error plot of the Bayesian optimization process based SVM classifiers is presented in Fig. 11.

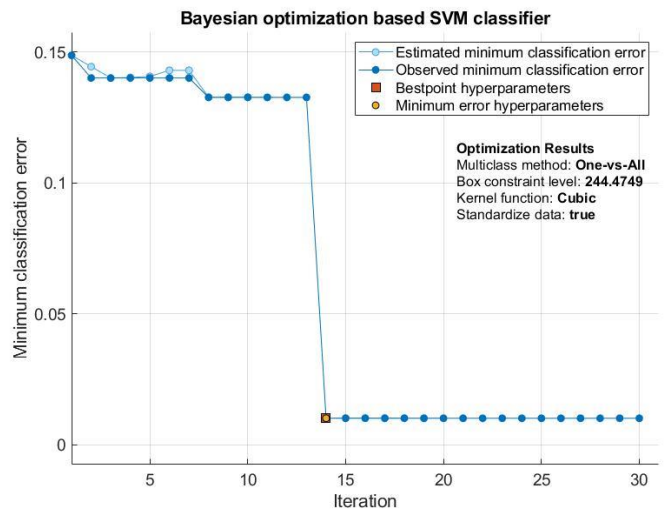


Figure 11 Bayesian optimization based SVM classifier-minimum classification error plot

As can be seen in Figure 11, 30 iterations were executed for the Bayesian optimization process based on the SVM classifier. The best-point of hyperparameters is accomplished at the end of the 14th iteration.

#### 4. Discussion

In this paper, the Bayesian optimization based SVM classifier proposed, and selected CNN based deep features were compared to the existing systems in the literature, and the results are presented in Table 8.

Table 8. Comparison of the existing studies with model proposed

References	Feature extraction	Classification	Accuracy
Ari et al. (2020)	AlexNet and VGG16	ELM	97.64%
Cheng et al. (2016)	Local features using Fisher Vector	SVM	94.68%
Abir et al. (2018)	GLCM	PNN	83.33%
Afshar et al. (2019)	Capsule networks (CapsNet)		86.56%
Cheng et al. (2015)	Bag of words	SVM	91.28%
Deepak and Ameer (2019)	GoogleNet	SVM	97.1%
Kaur and Gandhi (2020)	Fine-tuned AlexNet		96.95%
Ayadi et al. (2020)	DSURF and HoG	SVM	90.27%
Pashaei et al. (2018)	CNN	ELM	93.68%
Swati et al. (2019)	Fine-tune VGG19		94.80%
Deepak and Ameer (2020)	CNN	SVM	95.82%
Bodapati et al. (2020)	Xception and InceptionResNetV2	Softmax	95.23%
Proposed model	AlexNet and DenseNet201	Bayes optimization based SVM	98.04%

Table 8 summarizes the previous studies and gives accuracy scores. Among the previous studies using traditional machine learning methods. (Cheng et al., 2015; Cheng et al., 2016; Abir et al., 2018; Ayadi et al., 2020) studies for classification of brain tumors applied feature extraction methods such as Fisher Vector, GLCM, Bag of words, and DSURF/HoG, respectively. In addition, all these studies used the SVM classifier. The highest accuracy score among these works based on traditional methods is achieved as 94.68% by Cheng et al. (2016). On the other hand, the previous works based on pre-trained deep architectures used two approaches which are deep feature extraction and transfer learning (fine-tuned). (Deepak & Ameer, 2019; Ari et al., 2020; Bodapati et al., 2020) studies which used deep feature extraction approach presented combination of pre-trained deep models and SVM/ELM/Softmax classifiers. The highest accuracy score among these studies is obtained as 97.64% by Ari et al. (2020). (Swati et al., 2019; Kaur & Gandhi, 2020) works based on transfer learning (fine-tuned) used AlexNet, and VGG19, respectively. The highest accuracy score among these studies is obtained as 96.95% by Kaur and Gandhi (2020). According to all these results, deep learning-based studies for classification of brain tumors demonstrated higher performances than those of traditional machine learning based studies, as depicted in Table 8. Moreover, as it can be understood from Table 8, the accuracy score of the model proposed in the current study are observed to be more successful than those of the existing studies.

The advantages and limitations of the model proposed are as follows:

Advantages:

- The proposed model selected features which have high performance using feature selection algorithm.
- The best classifier parameters of SVM method were selected by using Bayes optimization algorithm.
- The combined and selected deep features ensemble model achieved a higher accuracy score than that of pre-trained deep architectures.

Limitations:

- It can be seen as a limitation of the study to find optimal selected features using the MrMr algorithm.

### 5. Conclusion

Proposed in this study is a hybrid model based on the Bayesian optimization based SVM classifier, four pre-trained CNN models and MrMr feature selection method for classification of brain tumors. In line with this purpose, a publicly available brain tumor dataset consisting of 3024 MRI images in total was used. The method proposed entailed three experiments. In the first experiment, pre-trained deep architectures based on the transfer learning approach were used as feature extractors, and representative features were obtained from brain MRI images. In the second experiment, MrMr feature selection method was used to select distinctive and more effective features from combined deep features. Finally, Bayesian optimization method was used for SVM classifier parameters and hyperparameters with the best performance were selected. According to the experimental results, the best accuracy score of 98.04% was achieved using model proposed for classification of brain tumors.

In future works, a real-time web-based system is planned to be developed, which will aim to support health professionals to detect brain tumors and other diseases. In addition, other CNN-based models, machine learning classifier and attention modules will be investigated to help classification of brain tumors.

### References

Abir, T.A., Siraji, J.A., Ahmed, E., & Khulna, B. (2018). Analysis of a novel MRI based brain tumour classification using probabilistic neural network (PNN). *Int. J. Sci. Res. Sci. Eng. Technol.*, 4(8), 65–79.

Afshar, P., Mohammadi, A., & Plataniotis, K.N. (2018). Brain tumor type classification via capsule networks. *arXiv preprint: arXiv:1802.10200*.

Afshar, P., Plataniotis, K.N., & Mohammadi, A. (2019). Capsule networks for brain tumor classification based on MRI images and coarse tumor boundaries. In *ICASSP 2019-2019 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)*, pp. 1368-1372.

Amin, J., Sharif, M., Raza, M., Saba, T., & Rehman, A. (2019). Brain Tumor Classification: Feature Fusion. In 2019

- International Conference on Computer and Information Sciences (ICCIS), pp. 1-6.
- Amin J., Sharif, M., Gul, N., Yasmin, M., & Shad, S.A. (2020). Brain tumor classification based on DWT fusion of MRI sequences using convolutional neural network. *Pattern Recognition Letters*, 129, 115-122.
- Ari, A. (2019). Detection and classification of brain tumors from MR images based on deep learning. PhD. Thesis, Inonu University, Malatya, Turkey.
- Ari, A., Alcin, O.F., & Hanbay, D. (2020). Brain MR Image Classification Based on Deep Features by Using Extreme Learning Machines. *Biomedical Journal of Scientific & Technical Research*, 25(3), 1937-1944.
- Ayadi, W., Charfi, I., Elhamzi, W., & Atri, M. (2020). Brain tumor classification based on hybrid approach. *The Visual Computer*, 1-11.
- Bodapati, J.D., Shaik, N.S., Naralasetti, V., & Mundukur, N.B. (2020). Joint training of two-channel deep neural network for brain tumor classification. *Signal, Image and Video Processing*, 1-8.
- Cheng, J., et al. (2015). Enhanced performance of brain tumor classification via tumor region augmentation and partition. *PloS one*, 10(10), e0140381.
- Cheng, J., et al. (2016). Retrieval of brain tumors by adaptive spatial pooling and fisher vector representation. *PLoS ONE*, 11(6), e0157112.
- Cheng, J. (2018). Brain tumor dataset (Figshare dataset), <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.1512427.v5>. Accessed 30 May 2018.
- Cortes, C., & Vapnik, V. (1995). Support-vector networks, *Machine Learning*, 20(3), 273.
- Deepak, S., & Ameer, P.M. (2019). Brain tumor classification using deep CNN features via transfer learning. *Computers in biology and medicine*, 111, 103345.
- Deepak, S., & Ameer, P.M. (2020). Automated Categorization of Brain Tumor from MRI Using CNN features and SVM. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 1-13.
- Demir, F., Turkoglu, M., Aslan, M., & Sengur, A. (2020). A new pyramidal concatenated CNN approach for environmental sound classification. *Applied Acoustics*, 170, 107520.
- Gulgezen, G., Cataltepe, Z., & Yu, L. (2009). Stable feature selection using MRMR algorithm. In 2009 IEEE 17th Signal Processing and Communications Applications Conference, pp. 596-599.
- Huang, G., Liu, Z., Van Der Maaten, L., & Weinberger, K.Q. (2018). Densely connected convolutional networks. In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition*, pp. 4700-4708.
- Kaur, T., & Gandhi, T.K. (2020). Deep convolutional neural networks with transfer learning for automated brain image classification. *Machine Vision and Applications*, 31, 1-16.
- Krizhevsky, A., Sutskever, I., & Hinton, G.E. (2012). Imagenet classification with deep convolutional neural networks. In *Advances in neural information processing systems*, 1097-1105.
- Pashaei, A., Sajedi, H., & Jazayeri, N. (2019). Brain tumor classification via convolutional neural network and extreme learning machines. In 2018 8th International conference on computer and knowledge engineering (ICCKE), pp. 314-319.
- Pelikan, M., Goldberg, D., & Cantú-Paz, E. (1999). BOA: The Bayesian optimization algorithm. In *Proceedings of the genetic and evolutionary computation conference GECCO-99*, 1, 525-532.
- Rehman, A., Naz, S., Razzak, M.I., Akram, F., & Imran, M. (2020). A deep learning-based framework for automatic brain tumors classification using transfer learning. *Circuits, Systems, and Signal Processing*, 39(2), 757-775.
- Swati, Z.N.K. et al. (2019). Brain tumor classification for MR images using transfer learning and fine-tuning. *Computerized Medical Imaging and Graphics*, 75, 34-46.
- Toğaçar, M., Ergen, B., & Cömert, Z. (2020a) Detection of lung cancer on chest CT images using minimum redundancy maximum relevance feature selection method with convolutional neural networks. *Biocybernetics and Biomedical Engineering*, 40(1), 23-39.
- Toğaçar, M., Ergen, B., & Cömert, Z. (2020b). Waste classification using AutoEncoder network with integrated feature selection method in convolutional neural network models. *Measurement*, 153, 107459.
- Turkoglu, M., & Hanbay, D. (2019). Plant disease and pest detection using deep learning-based features. *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, 27(3), 1636-1651.
- Turkoglu, M. (2020). COVIDetectioNet: COVID-19 diagnosis system based on X-ray images using features selected from pre-learned deep features ensemble. *Applied Intelligence*, 1-14.
- Yaslan, Y., & Cataltepe, Z. (2009). Audio genre classification with co-mrmmr. In 2009 IEEE 17th Signal Processing and Communications Applications Conference, pp. 408-411.



# Projection of Machine Usage in Agriculture of Ardahan Province

Hasan Ertop<sup>1\*</sup>, Atılğan Atılğan<sup>2</sup>, Osman Gökdoğan<sup>3</sup>, Burak Saltuk<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Isparta University of Applied Sciences, Agriculture Faculty, Department of Agricultural Structures and Irrigation, Isparta/Turkey  
(ORCID: 0000-0003-0987-5885), [hasanertop@hotmail.com](mailto:hasanertop@hotmail.com)

<sup>2</sup> Alanya Alaaddin Keykubat University, Rafet Kayıs Engineering Faculty, Department of Biosystems Engineering, Alanya-Antalya/Turkey (ORCID:0000-0003-2391-0317) [atilgan.atilgan@alanya.edu.tr](mailto:atilgan.atilgan@alanya.edu.tr)

<sup>3</sup> Isparta University of Applied Sciences, Agriculture Faculty, Department of Agriculture Agricultural Machinery and Technologies Engineering, Isparta/Turkey  
(ORCID: 0000-0002-4933-7144) [osmangokdogan@gmail.com](mailto:osmangokdogan@gmail.com)

<sup>4</sup> Alanya Alaaddin Keykubat University Rafet Kayıs Engineering Faculty Department of Biosystems Engineering Alanya-Antalya/Turkey  
(ORCID: 0000-0001-8673-9372) [burak.saltuk@alanya.edu.tr](mailto:burak.saltuk@alanya.edu.tr)

(First received 2 July 2021 and in final form 9 September 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.961147)

**ATIF/REFERENCE:** Ertop, H., Atılğan, A., Gökdoğan, O., Saltuk, B., (2021). Projection of Machine Usage in Agriculture of Ardahan Province. *European Journal of Science and Technology*, (27), 259-266.

## Abstract

In this study, the usage projection of agricultural machinery used in agricultural operations in Ardahan province was examined. It is aimed to determine the projection of technology use in agriculture by using the data between 2011-2020. The change rates of 35 machines, including tillage, sowing, planting, fertilization, spraying, harvesting-threshing and other machines, between 2011-2020 were examined. Projection coefficients were calculated and by using these, coefficients were calculated and evaluated for the years 2021-2030. In the study, the data of the Turkish Statistical Institute and findings from the related studies on the subject were used. It has been concluded that the positive projection coefficients of 29 machines considered in the technology usage projection will increase until 2030, while the projection coefficient determined for 6 machines is negative and there will be a decrease in these machines.

**Keywords:** Ardahan, Projection, Agricultural machinery

## Ardahan İli Tarımda Makine Kullanımı Projeksiyonu

### Öz

Bu çalışmada Ardahan ilinde tarımsal işlemlerde kullanılan tarım makinelerinin kullanım projeksiyonu incelenmiştir. 2011-2020 yılları arasındaki veriler kullanılarak tarımda teknoloji kullanım projeksiyonunun belirlenmesi hedeflenmiştir. 2011-2020 yılları arasında toprak işleme, ekim, dikim, gübreleme, ilaçlama, hasat-harman ve diğer makineleri içeren 35 makinenin değişim oranları incelenmiştir. Projeksiyon katsayıları hesaplanmış ve bunlar kullanılarak 2021-2030 yılları için katsayılar hesaplanmış ve değerlendirilmiştir. Çalışmada, Türkiye İstatistik Kurumu'nun verileri ve konu ile ilgili yapılan çalışmalardan elde edilen bulgular kullanılmıştır. Teknoloji kullanım projeksiyonunda ele alınan 29 makinenin pozitif projeksiyon katsayılarının 2030 yılına kadar artacağı, 6 makine için belirlenen projeksiyon katsayısının ise negatif olduğu ve bu makinelerde azalma olacağı sonucuna varılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Ardahan, Projeksiyon, Tarım makineleri.

\* Corresponding author: Alanya Alaaddin Keykubat University Rafet Kayıs Engineering Faculty Department of Biosystems Engineering Alanya-Antalya/Turkey (ORCID: 0000-0001-8673-9372) [burak.saltuk@alanya.edu.tr](mailto:burak.saltuk@alanya.edu.tr)

## 1. Introduction

Mechanization has great importance in increasing production, work efficiency and quality of work in agriculture, facilitating work, reducing costs, modernizing enterprises, opening new business areas, and improving the socio-economical population of agriculture. (Altay and Turhal, 2011). In addition to the necessity of using natural resources effectively and efficiently for the sustainability of agricultural production, it is obligatory to apply techniques that can help the people in production to develop socio-economically. In order to fulfil these conditions, it is necessary to eliminate the deficiencies of the implemented system and to develop new and effective technologies (Kaya et al., 2010).

Agricultural mechanization shows different levels of development and practice in all countries. This difference can be seen in the regions of a country as well as in agricultural enterprises within the same region. Depending on the technical and economic structure of the agricultural enterprise, the level of agricultural mechanization can be in different values (Koçtürk and Onurbaş Avcıoğlu, 2007). Conducting studies in the field of agricultural mechanization with up-to-date data in line with developments in agricultural production systems and technologies; It is of great importance for making the right decisions for the future by contributing to the agricultural development plans at regional, national and provincial level (Bayram and Altuntaş, 2016).

The use of machinery in agriculture, unlike other applications of agricultural technology, indirectly affects the increase in productivity and provides the application of new production methods in rural areas. In this respect, it increases the efficiency and economy of other technological applications and improves working conditions. Thus, by enabling the use of appropriate technologies, it helps to get more efficiency from production areas of a certain size (Saral et al., 2000; Demir and Kuş, 2016). In this study, it is aimed to determine the agricultural mechanization projection of the province of Ardahan for the next ten years, until 2030 and these values will guide the mechanization plans in the region.

## 2. Material and Method

Located in the northeast of Anatolia, Ardahan Province is surrounded by Georgia and Armenia in the northeast, Kars in the south and southeast, Erzurum in the southwest and Artvin in the west. Due to the high altitude of the region and the variability of the surface shapes, the continental climate prevails throughout the province, and the winters are long, harsh and snowy. In the province, which has an altitude of 1829 m above sea level, it is observed that the temperatures can reach the highest point at 33.6 °C in summer and decrease to -30.4 °C in winter (Anonymous, 2021a). The agricultural area of Ardahan province yields cereals and other herbal products on 427392 da, vegetables on 90 decares, and fruits, beverage and spice crops on 502 decares. The total agricultural area of Ardahan province is 427984 da, excluding meadow and pasture areas (Anonymous, 2021b). The material of the study consisted of the agricultural machinery data of the Turkish Statistical Institute for the years 2011-2020 for the province of Ardahan in general (Anonymous, 2021c). The projection coefficient was calculated based on the production and usage amounts of the technology used in agriculture in the past ten years. In this context, the usage projection of 35 machines commonly used in Ardahan (tillage, sowing, planting,

fertilization, spraying, harvesting-threshing and other machines) has been taken into consideration.

In line with the increase or decrease in the projection coefficient, ten-year projections of technology-use in agriculture in Ardahan province were determined. Depending on the number of machines in the previous year and the coefficient determined for that machine, the projections up to year 2030 of the agricultural machines widely used in Ardahan were determined by using the method of Demir and Kuş (2016), Baran et al. (2019), Solak et al. (2019). A positive projection coefficient indicates an increase in the number of existing machines, and a negative projection indicates a decrease (Demir, 2013; Demir and Kuş, 2016).

## 3. Results and Discussion

In the study, the number of soil tillage machines in the past ten years, the change rates compared to previous years, the projection coefficients calculated depending on the number of machines and the number of machines in the ten-year period are given in Table 1. According to the change rates calculated for the years 2011-2020, as seen in Table 1, the projection coefficients for the mouldboard plow, tooth harrow, disc harrow, cultivator, disc plow, mouldboard stubble plow, roller, arc opening plow, disc stubble plow and rotary tiller are -0.06, 0.67, -0.51, 38.40, 17.22, 4.27, -12.61, 3.30, 9.17 and 13.86 (%) respectively. According to the projection coefficient calculated for the years 2021 and 2030, it has been calculated that the largest increase will be observed in cultivator by 38.40% and corresponding to 10572 units, and the largest decrease will be observed in roller by -12.61 and corresponding to 18 units. The importance attached to tillage before sowing in grain production can explain the high number of mouldboard tractor plows.

The number of machines for sowing, planting and fertilizing machines in the past ten years, the rate of change compared to previous years, the projection coefficients calculated depending on the number of machines and the number of machines in the ten-year period are given in Table 2. According to the change rates calculated for the years 2011-2020, as seen in Table 2, the projection coefficients calculated for the chemical fertilizer spreader, tractor seed drill, combined seed drill, solid manure spreader and potato planting machine are 4.51, 2.83, 9.04, 37.16 and 25.93 (%) respectively. According to the projection coefficient calculated for the years 2021 and 2030, it has been calculated that the biggest increase will be in the solid manure spreader by 37.16% corresponding to 10572 units. It is possible to claim that the increase in the number of combined grain seeding machines over the years in Ardahan is because of the importance of grain production. Similarly, the number of potato planting machines increased from 1 unit in 2011 to 4 units in 2020. With the projection coefficient of 25.93% stated in Table 2, it can be assumed that the number of potato planting machines will increase to 40 in 2030. It can be thought that the low number of potato planting machines is due to the fact that potato cultivation is limited to an area of 292.48 da (Anonymous, 2021d) according to 2020 data and grain production has a greater importance in provincial agriculture.

The number of machines belonging to plant protection machinery in the past ten years, the rate of change compared to

previous years, the projection coefficients calculated depending on the number of machines and the number of machines in the ten-year period are given in Table 3. According to Table 3, indicating the change rates for the 2011-2020 period, the projection coefficients for back sprayer; stretcher, motorized sprayer duster combined atomizer; motorized sprayer and atomizer have been respectively calculated as 2.35, 6.79, -0.13 and 5.40 (%). According to the projection coefficient calculated for the 2021-2030 period, the greatest increase will be in in stretcher, motorized sprayer duster combined atomizer by 6.79%, corresponding to 23 units, and the greatest reduction will be observed in motorised sprayer by -0.13%, corresponding to 9 units. As indicated in Table 3, it can be said that there is not much tendency towards spraying machines in the province and therefore, plant protection activities with pesticide coverage are not carried out too much. According to Anonymous (2021a), this can be explained by the fact that almost all of the plant production and bee products in the province are ecological.

The number of harvesting-threshing machines in the past ten years, the change rates compared to previous years, the projection coefficients calculated depending on the number of machines and the number of machines in the ten-year period are given in Table 4. The projection coefficients calculated for the harvester and threshing machine, tractor pulled mower, hay rake, straw transfer-unloading machine, reaper, hay making machine, hay silage machine, corn silage machine and potato harvesting machine were

calculated as 0.24, 5.99, 2.89, 15.94, 6.51, -8.89, 6.15, 5.56, 5.56 and 20.37 respectively (Table 4). According to the projection coefficient calculated for the years 2021 and 2030, it has been calculated that the biggest increase will be in the potato harvester by 38.40% corresponding to 26 pieces and the biggest decrease will be observed in the number of reapers by -8.89 corresponding to 20 units. The fact that grain production has a greater importance in provincial agriculture can possibly have an effect on this. The high number of harvesting and thresher machines can indicate that grain production has a greater importance in provincial agriculture.

The number of other agricultural machinery for the past decade, the rate of change compared to previous years, projection coefficients and the number of machinery in the ten-year period are given in Table 5. The projection coefficients calculated for cream machine, churn, milking machine (mobile), milking facility, incubator, trailer, ladle, feed preparation machine, water tank and pump are -0.84, 0.08, 22.62, 37.62, 42.40, 2.18, 8.43, 1.19, 17.88 and 1.30 (%) respectively (Table 5). According to the projection coefficient calculated for 2021 and 2030, it has been calculated that the biggest increase will be observed in incubator by 42.40% corresponding to 823 units, and the biggest decrease will be observed in cream machines by -0.84 corresponding to 8611 units. This can be explained by the fact that the economy of the province is based on agriculture in general and livestock sector in particular (Anonymous, 2021a).

Table 1. Soil tillage machinery projection

Past Years	Mouldboard Plow	Tooth Harrow	Disc Harrow	Cultivator	Disc Plow	Mouldboard Stubble Plow	Roller	Arc Opening Plow	Disc Stubble Plow	Rotary Tiller
2011	5670	3092	1141	137	47	114	524	52	15	5
2012	5790	3152	1141	145	47	109	304	52	16	6
2013	5810	3177	1146	149	48	109	304	52	16	6
2014	5600	3181	1150	149	49	109	304	53	16	6
2015	5719	3207	1158	150	59	118	311	52	17	8
2016	5750	3234	1160	153	109	116	319	53	17	8
2017	5470	3384	1075	732	144	117	326	60	18	10
2018	5484	3384	1076	732	144	118	326	60	19	10
2019	5569	3221	1076	411	158	122	327	66	21	11
2020	5625	3275	1087	410	164	160	69	69	31	15
Exchange Rates	Mouldboard Plow	Tooth Harrow	Disc Harrow	Cultivator	Disc Plow	Mouldboard Stubble Plow	Roller	Arc Opening Plow	Disc Stubble Plow	Rotary Tiller
2011-2012	2.12	1.94	0.00	5.84	0.00	-4.39	-41.98	0.00	6.67	20.00
2012-2013	0.35	0.79	0.44	2.76	2.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2013-2014	-3.61	0.13	0.35	0.00	2.08	0.00	0.00	1.92	0.00	0.00
2014-2015	2.13	0.82	0.70	0.67	20.41	8.26	2.30	-1.89	6.25	33.33
2015-2016	0.54	0.84	0.17	2.00	84.75	-1.69	2.57	1.92	0.00	0.00
2016-2017	-4.87	4.64	-7.33	378.43	32.11	0.86	2.19	13.21	5.88	25.00
2017-2018	0.26	0.00	0.09	0.00	0.00	0.85	0.00	0.00	5.56	0.00
2018-2019	1.55	-4.82	0.00	-43.85	9.72	3.39	0.31	10.00	10.53	10.00
2019-2020	1.01	1.68	1.02	-0.24	3.80	31.15	-78.90	4.55	47.62	36.36
%	-0.06	0.67	-0.51	38.40	17.22	4.27	-12.61	3.30	9.17	13.86



Projection	Mouldboard Plow	Tooth Harrow	Disc Harrow	Cultivator	Disc Plow	Mould board Stubble Plow	Roller	Arc Opening Plow	Disc Stubble Plow	Rotary Tiller
2021	5622	3297	1081	567	192	167	60	71	34	17
2022	5618	3319	1076	785	225	174	53	74	37	19
2023	5615	3341	1070	1087	264	181	46	76	40	22
2024	5612	3364	1065	1504	310	189	40	79	44	25
2025	5608	3386	1060	2082	363	197	35	81	48	29
2026	5605	3409	1054	2881	425	206	31	84	52	33
2027	5601	3432	1049	3988	499	214	27	87	57	37
2028	5598	3455	1043	5519	585	224	23	89	63	42
2029	5595	3478	1038	7639	685	233	21	92	68	48
2030	5591	3501	1033	10572	803	243	18	95	75	55

**Table 2.** Sowing, planting and fertilizing machinery projection

Past Years	Chemical Fertilizer Spreader	Tractor Seed Drill	Combined Seed Drill	Solid Manure Spreader	Potato Planting Machine
2011	327	43	25	2	1
2012	355	45	35	3	1
2013	393	48	40	3	1
2014	408	49	42	3	1
2015	407	48	43	10	3
2016	423	48	45	11	3
2017	450	49	45	14	4
2018	462	49	45	14	4
2019	482	50	48	15	4
2020	484	55	52	16	4
Exchange Rates	Chemical Fertilizer Spreader	Tractor Seed Drill	Combined Seed Drill	Solid Manure Spreader	Potato Planting Machine
2011-2012	8.56	4.65	40.00	50.00	0.00
2012-2013	10.70	6.67	14.29	0.00	0.00
2013-2014	3.82	2.08	5.00	0.00	0.00
2014-2015	-0.25	-2.04	2.38	233.33	200.00
2015-2016	3.93	0.00	4.65	10.00	0.00
2016-2017	6.38	2.08	0.00	27.27	33.33
2017-2018	2.67	0.00	0.00	0.00	0.00
2018-2019	4.33	2.04	6.67	7.14	0.00
2019-2020	0.41	10.00	8.33	6.67	0.00
<b>%</b>	<b>4.51</b>	<b>2.83</b>	<b>9.04</b>	<b>37.16</b>	<b>25.93</b>
Projection	Chemical Fertilizer Spreader	Tractor Seed Drill	Combined Seed Drill	Solid Manure Spreader	Potato Planting Machine
2021	506	57	57	22	5
2022	529	58	62	30	6
2023	552	60	67	41	8
2024	577	61	74	57	10
2025	603	63	80	78	13
2026	631	65	87	107	16
2027	659	67	95	146	20
2028	689	69	104	200	25
2029	720	71	113	275	32
2030	752	73	124	377	40

Table 3. Plant protection machinery projection

Past Years	Back Sprayer	Stretcher, Motorized Sprayer Duster Combined Atomizer	Motorized Sprayer	Atomizer
2011	51	8	11	6
2012	47	8	11	6
2013	52	13	13	5
2014	50	12	12	5
2015	55	12	10	6
2016	57	12	10	6
2017	58	9	8	6
2018	58	9	8	6
2019	61	11	10	7
2020	62	12	10	9
Exchange Rates	Back Sprayer	Stretcher, Motorized Sprayer Duster Combined Atomizer	Motorized Sprayer	Atomizer
2011-2012	-7.84	0.00	0.00	0.00
2012-2013	10.64	62.50	18.18	-16.67
2013-2014	-3.85	-7.69	-7.69	0.00
2014-2015	10.00	0.00	-16.67	20.00
2015-2016	3.64	0.00	0.00	0.00
2016-2017	1.75	-25.00	-20.00	0.00
2017-2018	0.00	0.00	0.00	0.00
2018-2019	5.17	22.22	25.00	16.67
2019-2020	1.64	9.09	0.00	28.57
%	2.35	6.79	-0.13	5.40
Projection	Back Sprayer	Stretcher, Motorized Sprayer Duster Combined Atomizer	Motorized Sprayer	Atomizer
2021	63	13	9	9
2022	65	14	9	10
2023	66	15	9	11
2024	68	16	9	11
2025	70	17	9	12
2026	71	18	9	12
2027	73	19	9	13
2028	75	20	9	14
2029	76	22	9	14
2030	78	23	9	15

Table 4. Harvest-threshing machinery projection

Past Years	Harvester and Threshing Machine (Thrasher)	Tractor Pulled Mower	Hay Rake	Baler Machine	Hay Transfer-Unloading Machine	Reaper	Straw Making Machine	Hay Silage Machine	Corn Silage Machine	Potato Harvesting Machine
2011	4194	2075	2469	150	128	250	26	2	2	1
2012	4185	2220	2559	232	173	250	27	2	2	2
2013	4199	2351	2623	270	174	250	29	2	2	2
2014	4303	2493	2638	318	176	250	30	2	2	2
2015	4343	2548	2810	343	195	50	31	2	2	3
2016	4381	2568	2864	349	194	50	37	2	2	3
2017	4406	2969	2976	386	200	50	40	2	2	4
2018	4411	2969	3146	392	200	50	40	2	2	4
2019	4094	3102	3192	487	210	50	43	2	3	4
2020	4268	3471	3184	529	217	50	44	3	3	4

Exchange Rates	Harvester and Threshing Machine (Thrasher)	Tractor Pulled Mower	Hay Rake	Baler Machine	Hay Transfer-Unloading Machine	Reaper	Straw Making Machine	Hay Silage Machine	Corn Silage Machine	Potato Harvesting Machine
2011-2012	-0.21	6.99	3.65	54.67	35.16	0.00	3.85	0.00	0.00	100.00
2012-2013	0.33	5.90	2.50	16.38	0.58	0.00	7.41	0.00	0.00	0.00
2013-2014	2.48	6.04	0.57	17.78	1.15	0.00	3.45	0.00	0.00	0.00
2014-2015	0.93	2.21	6.52	7.86	10.80	-80.00	3.33	0.00	0.00	50.00
2015-2016	0.87	0.78	1.92	1.75	-0.51	0.00	19.35	0.00	0.00	0.00
2016-2017	0.57	15.62	3.91	10.60	3.09	0.00	8.11	0.00	0.00	33.33
2017-2018	0.11	0.00	5.71	1.55	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2018-2019	-7.19	4.48	1.46	24.23	5.00	0.00	7.50	0.00	50.00	0.00
2019-2020	4.25	11.90	-0.25	8.62	3.33	0.00	2.33	50.00	0.00	0.00
%	0.24	5.99	2.89	15.94	6.51	-8.89	6.15	5.56	5.56	20.37
Projection	Harvester and Threshing Machine (Thrasher)	Tractor Pulled Mower	Hay Rake	Baler Machine	Hay Transfer-Unloading Machine	Reaper	Straw Making Machine	Hay Silage Machine	Corn Silage Machine	Potato Harvesting Machine
2021	4278	5550	3276	613	231	46	47	3	3	5
2022	4289	5883	3371	711	246	42	50	3	3	6
2023	4299	6235	3468	824	262	38	53	4	4	7
2024	4309	6608	3568	956	279	34	56	4	4	8
2025	4319	7004	3671	1108	297	31	59	4	4	10
2026	4330	7424	3778	1285	317	29	63	4	4	12
2027	4340	7869	3887	1490	337	26	67	4	4	15
2028	4351	8340	3999	1727	359	24	71	5	5	18
2029	4361	8839	4115	2002	383	22	75	5	5	21
2030	4372	9369	4234	2322	408	20	80	5	5	26

Table 5. Projection of other machinery

Previous Years	Cream Machine	Churn	Milking Machine (Mobile)	Milking Facility	Incubator	Trailer	Ladle	Feed Preparation Machine	Water Tank	Pump
2011	10069	6729	281	30	3	4683	176	111	23	150
2012	10129	6889	458	30	3	4733	179	111	27	150
2013	10109	6795	588	40	3	4808	179	113	29	152
2014	10077	6345	713	53	3	4841	182	111	30	150
2015	10134	6454	732	53	12	5047	211	106	32	148
2016	10150	6492	739	48	17	5082	209	107	32	150
2017	10137	6498	1316	53	22	5346	223	113	81	150
2018	10222	6458	1327	53	22	5351	223	113	81	150
2019	10267	6483	1349	56	26	5501	333	118	59	162
2020	9291	6752	1440	205	24	5677	338	123	59	168

Change Rates	Cream Machine	Churn	Milking Machine (Mobile)	Milking Facility	Incubator	Trailer	Ladle	Feed Preparation Machine	Water Tank	Pump
2011-2012	0.60	2.38	62.99	0.00	0.00	1.07	1.70	0.00	17.39	0.00
2012-2013	-0.20	-1.36	28.38	33.33	0.00	1.58	0.00	1.80	7.41	1.33
2013-2014	-0.32	-6.62	21.26	32.50	0.00	0.69	1.68	-1.77	3.45	1.32
2014-2015	0.57	1.72	2.66	0.00	300.00	4.26	15.93	-4.50	6.67	1.33
2015-2016	0.16	0.59	0.96	-9.43	41.67	0.69	0.95	0.94	0.00	1.35
2016-2017	-0.13	0.09	78.08	10.42	29.41	5.19	6.70	5.61	153.13	0.00
2017-2018	0.84	-0.62	0.84	0.00	0.00	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00
2018-2019	0.44	0.39	1.66	5.66	18.18	2.80	49.33	4.42	-27.16	8.00
2019-2020	-9.51	4.15	6.75	266.07	-7.69	3.20	1.50	4.24	0.00	3.70
%	<b>-0.84</b>	<b>0.08</b>	<b>22.62</b>	<b>37.62</b>	<b>42.40</b>	<b>2.18</b>	<b>8.43</b>	<b>1.19</b>	<b>17.88</b>	<b>1.30</b>
Projection	Cream Machine	Churn	Milking Machine (Mobile)	Milking Facility	Incubator	Trailer	Ladle	Feed Preparation Machine	Water Tank	Pump
2021	9290	6757	1766	282	34	5801	366	124	70	170
2022	9212	6811	2165	388	49	5927	397	126	82	172
2023	9135	6866	2655	534	69	6056	431	127	97	175
2024	9058	6921	3255	735	99	6188	467	129	114	177
2025	8982	6976	3992	1012	141	6323	507	130	134	179
2026	8906	7032	4895	1393	200	6461	549	132	158	182
2027	8831	7088	6002	1917	285	6602	596	134	187	184
2028	8757	7145	7360	2638	406	6746	646	135	220	186
2029	8684	7202	9024	3630	578	6893	700	137	259	189
2030	8611	7260	11066	4995	823	7043	759	138	306	191

#### 4. Conclusions and Recommendations

Since mechanization is a high-cost production input, it needs to be chosen and applied correctly, otherwise it can negatively affect the profitability in enterprises. Since the most economical use of this input can only be possible by planning models that are suitable for local conditions, increasing the efficiency of mechanization in agriculture can be achieved by making agricultural mechanization planning correctly (Demir, 2013).

Based on the calculated projection coefficient, it is anticipated that the greatest increase in soil tillage machines for the 2021 to 2030 period will be observed in cultivators by 38.40%, corresponding to 10572 units, and the greatest reduction will be in rollers by -12.61, corresponding to 18 units; the greatest increase in sowing, planting and fertilization machines will be observed in solid manure spreaders by 37.16% corresponding to 377 units; the greatest increase in plant protection machines will be observed in stretcher, motorized sprayer duster combined atomizer by 6.79% corresponding to 23 units, and the greatest decrease will be observed in motorised sprayers by -0.13 corresponding to 9 units; the greatest increase in harvesters will be observed in potato harvesting machines by 20.37% corresponding to 26 units, and the greatest reduction will be observed in reaper machines by -8.89 corresponding to 20 units;

the greatest increase in other machinery will be observed in incubator machines by 42.40% corresponding to 823 units, and the greatest decrease will be observed in cream machines by -0.84 corresponding to 8611.

As a result of the positive projection coefficients determined for the 29 machines examined in the research, it was concluded that the technology usage projection in the agriculture of Ardahan province will increase until 2030, and there will be a decrease in these machines in line with the negative projection coefficient determined for 6 machines. Since grain production, animal husbandry and dairy products have an important place in Ardahan province, it has been concluded that machines in this class tend to increase and that supporting the producers within the scope of these machines can bring a positive trend to the provincial agriculture.

#### References

- Altay, F., Turhal, K., 2011. The Current Situations of Agricultural Mechanization in Bilecik and Solution Proposals. 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), 16-18 May, Elazığ, Turkey. (In Turkish)

- Anonymous, 2021a. Turkey Republic Ardahan Governorship, Provincial Directorate of Environment and Urbanization. Ardahan Province Environmental Status Report for 2017. [https://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/icerikler/ardahan\\_2017\\_cdr\\_son-20180605095733.pdf](https://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/icerikler/ardahan_2017_cdr_son-20180605095733.pdf) (Date of Access: 12/06/2021). (In Turkish)
- Anonymous, 2021b. Turkish Statistical Institute, Crop Production Statistics 2021 [https://tuikweb.tuik.gov.tr/PreTable.do?alt\\_id=1001](https://tuikweb.tuik.gov.tr/PreTable.do?alt_id=1001) (Date of Access: 22/03/2021). (In Turkish)
- Anonymous, 2021c. Turkish Statistical Institute, Agricultural Equipment and Machinery Statistics. <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=92&locale=tr> (Date of Access: 10/06/2021). (In Turkish)
- Anonymous, 2021d. Ardahan Province Cultivated Agricultural Fields Product Report for 2020. Turkish Statistical Institute. (In Turkish)
- Baran, M. F, Gökdoğan, O, Eren, Ö, Bayhan, Y., 2019, Projection of Technology Equipment Usage in Agricultural in Turkey, *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 6(1): 1-9.
- Bayram, M., Altuntaş, E., 2016. Investigation of Agricultural Mechanization Characteristics of Tokat Province for 2003 and 2013 Years. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 12(3): 213-220. (In Turkish)
- Demir, B., 2013. Projection of Technology Usage in Agriculture of Mersin Province. *Alınleri Ziraî Bilimler Dergisi*, 24(B), 29-34. (In Turkish)
- Demir, B., Kuş, E., 2016. Projection of Technology Using in Agriculture of Central Anatolia Region. *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi TARGİD Özel Sayı*, 89-95. (In Turkish)
- Kaya, Y., Arısoy, R.Z., Taner, A., Aksoyak, Ş., Partigöç, F., Gültekin, İ., 2010. Comparison of Conventional Plating and Direct Seeding for Wheat Cheak Pea Rotations in Central Anatolian in Rainfed Conditions. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 6(4): 267-272. (In Turkish)
- Koçtürk, D., Onurbaş Avcıoğlu, A., 2007. Determining Agricultural Mechanization Level in Terms of thr Regions and the Cities in Turkey. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 3(1): 17-24. (In Turkish)
- Saral, A., Vatandaş, M., Güner, M., Ceylan, M., Yenice, T., 2000. Mechanization Situation of Turkish Agriculture” Union of Chamber of Engineers and Architects of Turkey Chamber of Agriculture 5th Technical Congress, 17-21 January, 901-923, Ankara. (In Turkish)
- Solak, M., Saltuk, B., Baran, M.F., 2019. Projection of Agricultural Tools and Machinery Usage in Agriculture in Siirt. *Ispac Uluslararası Tarım ve Kırsal Kalkınma Kongresi*, 10-12 Haziran, Siirt, 71-79. (In Turkish)



## Sağlık Sektöründe Yönetmelik Kaygıları

Mucize Sarihan<sup>1\*</sup>, Onur Yazar<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> İstanbul Okan Üniversitesi, SHMYO, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0001-8013-7370) mucize.sarihan@okan.edu.tr

<sup>2</sup> İstanbul Okan Üniversitesi, SHMYO, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0001-9543-6891) onur.yazar@okan.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 18 Nisan 2021 ve Kabul Tarihi 9 Eylül 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.826022)

**ATIF/REFERENCE:** Sarihan, M. & Yazar, O. (2021). Sağlık Sektöründe Yönetmelik Kaygıları. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (27), 267-282.

### Öz

Etik kavramı, insan hayatının birçok farklı noktasında önemi hissedilen bir konuya işaret etmektedir. Özellikle de hayatın bazı alanlarında etik, kritik bir değere sahiptir. Bunlardan biri olarak sağlık sektöründe, etik kuralların ve uygulamaların gerçekleştirilmesi hem sektörün güvenilirliği hem de insan sağlığına verilen önemin gösterilmesi adına önem taşımaktadır. Özellikle de çalışanların sektör içerisindeki, hastalarla ve sağlık hizmeti almak isteyen tüm bireyler ile doğrudan iletişim halinde oldukları düşünülecek olursa, onların konumları, etik kavramının karara bağlanması açısından son derece önemli olmaktadır. Bu çalışmada, sağlık sektörü ve çalışanları (hemşireler ve teknikerler) açısından etik kavramının ne anlam ifade ettiği? Alanda karşılaştıkları etik sorunlar, ikilemler ve özellikle yönetim temelli etik sorunlar konusundaki görüşleri ve kaygıları araştırılmıştır. Bu amaçla çalışanlarla yüz yüze görüşmeler yapılarak, bu görüşmeler doğrultusunda elde edilen veriler nitel araştırma yöntemi uygulanarak değerlendirilmiştir. Sağlık çalışanları için 9 maddelik açık uçlu sorular hazırlanmıştır. Farklı hastanelerde ve kliniklerde çalışan 10 kişiden oluşan hemşire ve tekniker ile yapılan görüşmeler kayıt altına alınmıştır. Görüşmeler Covid 19 salgını nedeni ile hastane dışında gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veriler MAXQDA 2020 veri analiz programı kullanılarak değerlendirilmiştir. Analiz sonucunda meslek etiği çerçevesinde 7 ana tema ve onların alt kodları belirlenmiştir. Elde edilen ana temalar; Sağlık Etiği, etik ikilemler, motivasyon, yönetimsel etik sorunlar, diğer etik sorunlar, maddi çıkar elde etme, yazılı kurallar olarak belirlenmiştir. Yönetim temelli etik sorunlar temasına ait doğrudan 9 alt kod ve dolaylı olarak 3 alt kod tespit edilmiş ve bu kodlar değerlendirilmiştir. Etik ikilemler, çalışanlar üzerinde performans düşüklüğüne neden olurken; malzeme eksikliği ve malzemelerin kalitesiz olması, çalışanlara karşı duyarsız davranma gibi yönetim bazlı sorunların da çalışanların motivasyonlarını düşürdüğü belirlenmiştir. Klinik bazlı etik sorunlar temasında ise çalışma sahasında tecrübeli elemanların değer görmediği ve bu durumun motivasyonu düşürdüğü yönündedir. Yazılı kurallar temasında dikkat çekici nokta genel anlamda uyulması yönünde olumlu sonuçlar verdiği ve çalışanları güvende hissettirdiği yönündedir. Yazılı kurallar teması ile ilgili en önemli tespit ise çalışanların çalışma sırasında doğru alışkanlıklar geliştirmelerini sağlamaları açısından etkili olduğunun ifade edilmesidir. Yönetmelik etik teması çalışanlar tarafından en çok vurgulanan tema olmasıdır. Yönetime bağlı etik sorunlar; iş yoğunluğu, personel eksikliği, malzeme eksikliği, malzeme kalite eksikliği, takdir görmeme, fiziki alan eksikliği, döner sermaye eşitsizliği, sık eleman değişimi gibi alt kodlar ile tespit edilmiştir. Sağlık sektörü verdiği hizmet bakımından hassas bir sektördür. Yapılacak hataların toleransı yoktur. Bu anlamda sağlık çalışanları oldukça yoğun çalışmaktadır ve yapılan çalışmada eleman yetersizliğinde bu soruna eşlik ettiğinde işlerin daha da zorlaştığı ifade edilmektedir. Gerek kurumsal yönetim bazında gerekse klinik yönetimi bazında çalışanlara karşı motive edici davranışlar onları hem moral hem de performans olarak etkileyecektir. Kliniklerde eksikliklerin giderilmesi ve kalitenin benimsenmesi çalışanların işlerini kolaylaştırmanın yanında verilen hizmetin kalitesini de etkileyecektir. Bunun yanı sıra yönetimin, yoğun iş yükü altında olan çalışanlara değerli hissetmelerini sağlayacak takdir edici geri bildirimler sunmaları, yeterli eleman sağlanması ve eksikliklerin giderilmesi yönündeki çalışmalar iş performansını ve motivasyonlarını yükselterek, daha kaliteli bir hizmet, çalışanlar arasında refah ortamı yaratacaktır. Bu konu ile ilgili hizmet içi eğitimlerin yapılması önemlidir. Bu doğrultuda çalışma alanları farklı olan hemşire ve teknikerler kendi alanlarında yaşadıkları etik sorunlarla ilgili farklı tema ve kodlar oluşturmamızı sağlamışlardır. Ayrıca çalışmada yönetmelik etik sorunlar vurgulanmıştır ve bu bağlamda iki yönetmelik etik sorun tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Etik, Sağlık Etiği, Yönetmelik Etik.

## Management Ethics in the Health Sector with Its Theoretical Bases

### Abstract

The concept of ethics points to a subject whose importance is felt at many different points in human life. Ethics has a critical value, especially in some areas of life. As one of these, the implementation of ethical rules and practices in the health sector is important in terms of both the reliability of the sector and the importance given to human health. Especially considering that employees in the sector are in direct contact with patients and all individuals who want to receive health services, their positions are extremely important in terms of deciding the concept of ethics. What does the concept of ethics mean for the health sector and its employees (nurses and technicians) in this study? Their views and concerns about the ethical problems they encounter in the field and especially about the ethical problems arising from management were investigated.

For this purpose, face-to-face interviews were conducted with the employees and the data obtained in line with these interviews were evaluated by applying the qualitative research method. 9-item open-ended questions were prepared for healthcare professionals. Interviews with 10 nurses and technicians working in different hospitals and clinics were recorded. The interviews took place outside the hospital due to the COVID-19 outbreak. The obtained data were evaluated using the MAXQDA 2020 data analysis program. As a result of the analysis, 7 main themes and their sub-codes were determined within the framework of professional ethics. The main themes obtained; Health Ethics has been determined as ethical dilemmas, motivation, managerial ethical problems, other ethical problems, obtaining financial benefits, and written rules. 9 direct subcodes and 3 indirect subcodes belonging to the theme of management-based ethical problems were identified and these codes were evaluated. While ethical dilemmas cause poor performance on employees; It has been determined that management-based problems such as lack of materials, poor quality of materials, insensitive behavior towards employees also reduce the motivation of employees.

In the theme of clinical-based ethical problems, it is stated that experienced personnel in the field of study are not valued and this situation reduces motivation. The remarkable point in the theme of written rules is that it gives positive results in general terms and makes employees feel safe. The most important determination regarding the theme of written rules is that it is effective in enabling employees to develop correct habits during work. The theme of managerial ethics is the one most emphasized by the employees. Ethical issues related to management; work intensity, lack of personnel, lack of material, lack of material quality, lack of appreciation, lack of physical space, inequality of revolving funds, frequent personnel changes. The health sector is a sensitive sector in terms of the services it provides. There is no tolerance for mistakes to be made. In this sense, health professionals work very hard and it is stated in the study that the work becomes more difficult when the lack of personnel accompanies this problem. Motivating behaviors towards employees, both on the basis of corporate management and clinical management, will affect them both in terms of morale and performance. Eliminating the deficiencies in the clinics and adopting the quality will not only facilitate the work of the employees, but also affect the quality of the service provided. In addition, the management's efforts to provide appreciative feedback to employees who are under heavy workloads that will make them feel valuable, to provide sufficient staff and to eliminate deficiencies will increase their work performance and motivation, and create a better quality service and an environment of well-being among employees. It is also important to have in-service training on this subject.

In this direction, nurses and technicians with different fields of study enabled us to create different themes and codes regarding the ethical problems they experienced in their fields. In addition, managerial ethical problems were emphasized in the study and two managerial ethical problems were identified in this context.

**Keywords:** Ethics, Health Ethics, Managerial Ethics.

## 1. Giriş

Etik unsuru, insan hayatının birçok noktasında kendisini göstermekte ve nitelikli iş, iletişim, yaşam süreçlerinin oluşturulması adına bireylere bir zemin yaratmaktadır. Yoğunlukla insan ilişkilerinin yoğun olduğu noktalarda ön plana çıkan etik unsuru, bazı konularda çok daha büyük önem arz etmektedir. Böylelikle insanların çıkarlarını doğrudan ilgilendiren noktalarda, sürecin gidişatına doğrudan etki etmektedir. Bu açıdan bakıldığında etik, insan hayatının belki de en önemli belirleyicisi olmakta ve ahlaki değerler bütünü ile bir arada değerlendirildiği süre zarfında insan hayatının daha doğru ve daha fazla, toplum genelince kabullenilmiş değerlere uygun olmasına yaramaktadır.

Sağlık alanı, etik kavramının en fazla gözetilmiş olduğu alanlardan biridir. Buna göre sağlık sektörünün geneli ve özellikle de sektör çalışanları, etik unsurların son derece fazla gözetilmesi gerekliliği üzerine inşa edilen bir sistemin içerisinde yer almaktadırlar. İnsan sağlığının kritik bir öneme sahip olduğu bu sektör için önceliğin insana verilmesi ve insan için gereken her şeyin yapılması, sektörün ve sektör çalışanlarının insani duygularının ön plana çıkarıldığı gösterilmesi adına önemlidir. Yıllar içerisinde giderek daha fazla ticari bir kimlik kazanan sağlık sektörü, böyle bir kimliğe sahip olsa da aslında temel olarak taşıdığı kimlik, insan hayatını göz önünde bulundurarak insanın iyiliğine hizmet etmesidir. Bu durumda sağlık sektörü ve sektörün çalışanları için etik kavramı da daha fazla tartışılan bir noktaya ulaşmıştır.

Sağlık sektöründe sunulan hizmetler kamusal nitelik taşıyan hizmetler olması bakımından önemlidir. Ayrıca, sağlık hizmetlerinin sunulma biçimi formal bir nitelik taşımaktadır ve bu hizmetler çalışanlara önemli bir sorumluluk yüklemektedir (Utlu, N. 2013). Hastanelerde çalışan hemşireler ve teknikerler en önemli hizmet sunucular arasında yer almaktadır. Özellikle

hemşireler 24 saat esasına göre çalışmaları nedeniyle sundukları hizmet şekli oldukça yoğundur. Diğer yandan hasta yoğunluğu yaşanan diğer sağlık grubu ise teknikerlerdir. Sağlık çalışanlarının yoğunluklarının diğer bir nedeni de etik değerlere bağlı kalmalarından dolayıdır. Ancak hastalar, hasta yakınları ve yönetsel anlamda ortaya çıkan bazı etik sorunlar çalışanların performans ve motivasyonlarını etkilemektedir. Özellikle sağlık çalışanlarının sektör içerisindeki, hastalarla ve sağlık hizmeti almak isteyen tüm bireyler ile doğrudan iletişim halinde oldukları düşünülecek olursa, onların konuları, etik kavramının karara bağlanması açısından son derece önemli olmaktadır. Daha önce yapılan çalışmalarda etik iklim ve çalışanlar üzerindeki yıldırma politikası incelenmiş ve anket çalışması yapılarak çalışanlar üzerindeki baskılar değerlendirilmiştir Utlu N. (2016). yaptığı araştırmada devlet hastanesinde hemşireler ile görüşmeler yapmış ve yapılan görüşmelerde mesleki etik, sağlık etiği ve etik sorunlar üzerinde durulmuş, bu konudaki görüşleri değerlendirilmiştir. Han H. (2018) ise hemşirelerin etik sorunları üzerine yaptığı araştırmada mobing vurgusu yapmıştır. Aydan S. (2017) Etik konusu ile ilgili yaptığı tez çalışmasında etik iklim ve örgütsel güvenin ihbarcılık niyeti üzerine etkileri değerlendirmiştir. Amerikan Hekim Yöneticileri Birliğinin (American Collage OF Physician Executives; ACPE) 2005 yılında yaptığı araştırmada etik dışı uygulamaların yaklaşık %54 olduğuna dikkat çekmesi etik davranışın sağlık örgütleri açısından önemini ortaya koymuştur. Yapılan çalışmalarda çalışma ortamındaki etik sorunların mobing'e neden olduğu bildirilirken, etik ihlallerin ise malpraktısa neden olduğu belirtilmiştir. Araştırmamızda farklı hastane ve bölümlerde görev yapan hemşireler ve teknikerler araştırma kapsamına alınmış ve yüz yüzyüze görüşmeler yapılarak, çalışma ortamında yaşadıkları etik sorunlar, ikilemler ve yönetim temelli etik sorunların ve kaygıların neler olduğu tespit edilmesi amaçlanmıştır.

## 2. Etik Kavramı

### 2.1. Teorik Olarak Etik Kavramı

Etik, kelime olarak, kişi ya da mesleğin davranışlarını düzenleyen ahlaki ilkeler grubu ya da değerler topluluğu olarak tanımlanmaktadır (Kutlay & Yılmazlar, 2001).

Etik sözcüğü köken olarak eski Yunanca bir sözcük olan ethos sözcüğünden gelir. Bu sözcüğü kökeninde ethica sözcüğü vardır. Buradaki etika sözcüğü, ethos sözcüğünün çoğulu olan “ethe’ye ilişkin konular” anlamına gelmektedir. Ethos ’un çoğulu olan ethe, en eski anlamıyla söylenirse, “canlı bir varlığın ‘mekân’ı, ‘hep gittiği, sığındığı yer’ anlamına” gelmektedir (Kuçuradi, 1997). Ethe İlk anlamıyla “bir canlının barındığı, sığındığı yer, ortam” anlamına gelmektedir. Tekili olarak ethos sözcüğü de karakter, huy demektir (Köseoğlu Z, 2011).

Etik, bireylerin toplumsal olarak gerçekleştirdiği ve başka bireyleri etkileyici sonuçları olan eylemleri/yapıp etmeleri / davranışları ve bunları şekillendiren düşünce süreçleri ile bağlantılıdır. Bu bağlamda etik 3 şekilde somut olarak karşımıza çıkar. Felsefenin alanı anlamında etik, davranışlar bağlamında bireylerin ideal davranış şekillerini formüle eder. Bunun yanı sıra nelerin iyi olduğu ve iyinin ne olduğu konusunu ele almaktadır.

Toplum yaşamında etiğin karşılığı, insanların birbirleriyle ilişkilerinde neleri yapmaları ve nelerden kaçınmaları gerektiğiyle ilgili bir kurallar kümesi; kısaca genel ahlaktır (Gülây Yıldırım, Selim Kadioğlu. (2007).

### 2.2. Bazı Teorisyenler ve Etik Yaklaşımları

#### 2.2.1. Adam Smith

Yoğun olarak iktisadi alana dair çalışmalar yapmış olan Adam Smith, iktisat teorisi içerisinde etik ile ilgili farklı yaklaşımlara sahip olmakla birlikte, zaman içerisinde bu etik anlayışını, toplumun genel ahlak yapısıyla bütünleştirmiş ve buna istinaden de yeni bir etik mekanizması oluşturmaya çalışmıştır.

Smith, toplumun etik anlayışının benimsenmesi ve benimsetilmesi konusunda, genelleleyen bir tarza sahiptir. “Ahlaki Duygular Kuramı ve Hukuk Felsefesi Üzerine Dersler” adlı eserinde, bireysel anlamdaki ahlaki duyguların önemine dikkat çekmiş, ancak bunların önemli olmasının, sadece bireylerin kendi başlarına bir ahlaki değerler silsilesi oluşturmalarına sebebiyet vereceğini düşünmüştür. Bu nedenle, Antik Yunan’dan gelen bir şekilde savunduğu “polis” şeklindeki siyasi yönetim anlayışını da ön plana çıkararak, tüm toplumun, önceden belirlenmiş, bir ve açık olan etik değerler silsilesine itibar etmesi gerektiğini dile getirmiştir (Gürkan, 2013).

Öte yandan Adam Smith için etik, basit bir akıl yürütme ile de kesinliğe kavuşturulabilecek olan bir konudur. Her ne kadar tüm insanlar için ortak bir etik sisteminin gerçekleştirilmesi konusunda genellemeci olsa da Smith, bu etik düzeyinin zihinsel anlamda, herkesin ortak bir şekilde düşünmesi vesilesi ile de benimsenebileceğini dile getirmiştir. Smith’e göre toplumun ahlaki anlamda ihtiyacı olan unsurlar bellidir ve bu unsurların hemen hepsi herkes tarafından ortak şekilde nitelikli bir şekilde algılanabilecektir (Levent, 2013). Bu noktada Smith’in görüşüne göre kendisinin etik anlamdaki genelleleyen bakış açısının bir baskı unsuru olarak algılanmaması gerektiğine dair bir yaklaşımının olduğu fark edilmektedir. O’nun açısından eğer ki toplumun

ahlaki anlamda doğruyu ve yanlış ayırt etme kapasitesi zaten belli ise ortak ve genel geçer bir etik düzeni herkesin çıkarına olacaktır.

Bu sayede sadece etik değil, aslında adaletli bir toplum oluşturulabileceğini dile getiren Smith, etik kavramının sadece bir aracı unsur olduğunu düşünmektedir. Çünkü adaletin hâkim olduğu ve herkes tarafından benimsenmiş bir adaletin kesinliği toplumun kabul göstereceği bir durumdur. Bu nedenle de adaletin tesisi önemlidir, ancak adalet, herkesin kabul ettiği etik bir ahlaki yapının olmadığı ortamda; herkesin kendince haklı olduğu bir ortamda kendisine yaşam alanı bulamayacaktır (Livvarçin & Kurt, 2012).

#### 2.2.2. Karl Marks ve Etik Yaklaşımı

Büyük ölçüde görüşlerini işçi sınıfının toplumsal olarak çıkarlarının gözetilerek yükseltilmesi üzerine konuşlandıran Marks, bu şekilde görüşlerinin temelini, ahlaki değer bütünlüğü ve kurallar açısından işçi sınıfının çıkarlarını yerleştirmektedir. Temel olarak Marks, herhangi bir şekilde, spesifik bir etik anlayışına itibar etmemektedir. Etik kavramına bakış açısı olumlu olsa da kendisi etik kavramına uyum sağlamaya çalışmamakta, kendi ahlaki değerlerinin etik üzerinde etkili olmasına odaklanmaktadır. Bir başka deyişle Marks, kendi belirlediği etik değerlerin kabul görmesi gerektiği konusunda baskıcı bir tutum sergilemektedir (Eğri, 2008).

Öte yandan Marks için önem arz eden konu, etik bir kurallar silsilesi oluşturulacaksa, bu konuda mutlak olarak uluslar ve toplumlar üstü, güçlü bir yapının kurulması gerekmektedir. Çünkü etik, düşünüldüğü kadar sıradan bir yapı üzerine inşa edilebilecek bir durumda değildir. Marks için etik bir kurallar silsilesi olacak ve proletarya üzerinden bu sistem işleyecekse mutlak olarak proletaryanın değerlerinin üzerinde, kabul edilebilir ve güçlü bir yapısının olması gerekmektedir (Yıldırım, 2012).

Her ne kadar Marks çalışmalarında etik ve ahlak olgularından doğrudan doğruya bahsetmese de O’nun temel hedefi, herkesi ortak bir doğru etrafında toplamak ve bunun korunması adına birleştirmektir. Tıpkı siyasi görüşlerinde olduğu gibi sosyolojik bakış açısında da birleştirici bir yapıdan bahsetmek mümkündür. Bu birleştiricilik nitelikli ve değerli bir düzenin diğer insanların inandığı, ancak yozlaşmamış ahlaki değerler ile de açıklanabilecektir, ancak sınıfsal düzenin değişimi açısından hiçbir kimseyi diğerinden ayırmamak gayesinde olmalıdır (Öztürk, 2015).

### 2.3. Etik Konusunda Yapılan Çalışmalar

Kördeve (2017), “Özel Sektör Sağlık Çalışanlarında Etik Tutum ile Whistleblowing Arasındaki İlişki” başlıklı araştırmasında, örnek olaylar ekseninde, söz konusu olaylara sağlık çalışanlarının bakış açılarını incelemeye çalışmıştır. Çalışmada katılımcıların %94,4’ü örnek olayda geçen hastane kaynaklı bebek ölümlerinde hatayı amirine rapor edeceğini, %72,6’sı hatayı kendi ismini vererek rapor edeceğini, %90,3’ü hatadan üst yönetimi haberdar edeceğini, %31,4’ü hatayı sahte isimle rapor edeceğini ifade etmiştir. Çalışmaya göre özel sektör sağlık çalışanları arasında etik ve yasa dışı olayların ihbarı benimsenmiş bir durumdur. Kördeve’nin bu araştırmasında ön plana çıkan konu, etik dışı olayların sağlık çalışanları tarafından fark edildikleri süre zarfında mutlak olarak, çözümleri için gereken mercilere iletiliyor olmalarıdır.



Kırılmaz ve Kırılmaz (2014), tıp literatürüne dair yapmış oldukları değerlendirmede, sağlık konusundaki etiğin hayati önemine ve sağlık personelinin tutum ve davranışlarının ne denli belirleyici olduğuna değinmiştir. Buna göre sağlık çalışanlarının almış oldukları mesleki eğitimin içerisinde sağlık etiğinin de bulunması son derece büyük bir öneme sahiptir. Sadece tıbbi müdahalelerin değil, operasyon ve teşhis, tanı gibi süreçlerin dâhilindeki sağlık etiği ile uyumlu davranışlar hastaların hayatını kurtarabileceği gibi başarısız uygulamaların hastalara vereceği zararların da önüne geçmektedir (Kırılmaz & Kırılmaz, 2014).

Doğan ve Karataş (2011) “Örgütsel Etiğin Çalışan Memnuniyetine Etkisi Üzerine Bir Araştırma” başlıklı araştırmalarında, örgütsel etik, liderlik ve çalışan memnuniyeti kavram ve olgularını bir arada ele almışlardır. Buna göre örgütsel etiğin çalışan memnuniyetindeki önemini ortaya koymak amacıyla, sağlık çalışanları arasında yapılan bu araştırma sonucunda elde edilen bulgular, örgütsel etiğin çalışan memnuniyetini olumlu yönde etkilediğini göstermektedir. Bu sonuca göre, sağlık örgütlerinin başarıya ulaşmasında çalışan memnuniyeti çok önemli bir etken olması vesilesi ile yöneticilerin çalışanlarıyla ilişkilerinde etik ilkeler çerçevesinde davranması gerektiği kanaatine varılmıştır. Çalışanlar etik ilkeler çerçevesinde yapılandırılan örgütsel etiği, kendilerine etik davranışlar göstererek model olan yöneticileri sayesinde algılayabileceklerdir (Doğan & Karataş, 2011). Bir başka deyişle örgütsel etik açısından etkisi bulunan unsurların çalışanlara doğru bir şekilde aktarılması sonucunda onlardan yüksek ölçekli verim alınması kolaylaşmaktadır. Bu durum da onların etik konusundaki tutumlarını güçlendirmektedir.

Dündar (2010), bir önceki Doğan ve Karataş'ın çalışmalarına paralel olarak gerçekleştirdiği araştırmasında benzer ve daha detaylı sonuçlara erişilmiştir. Buna göre araştırmada, hastane yöneticilerinin sergiledikleri baskıcı ve zarar veren tutumların çalışanların huzurlu ve sağlık etik kurallarına bağlı olarak çalışmalarını engellediği tespit edilmiştir. Öte yandan araştırmanın çarpıcı sonucu, bu tür baskı uygulayan yöneticilerin, hastane ortamında önceliği herhangi bir şekilde başarılı ve sağlık odaklı, etik bir yönetim anlayışına vermedikleri; aksine, finansal anlamda kazanımlar ve karlılık odaklı olarak değerlendirdikleri görülmüştür (Dündar, 2010).

Şen vd. (2013), “Kamu Hastanelerinde Görev Yapan Başhekim ve Başhemşirelerin Duygusal Zekâ Düzeyleri ile Etik Muhakeme Yetenekleri ve Etkileyen Faktörler” başlıklı araştırmalarında, başhekim ve başhemşirelerin duygusal zekâ düzeyleri ile etik muhakeme yeteneklerinin iyi düzeyde olduğu süre zarfında, yöneticilerin cinsiyet ve eğitim durumunun duygusal zekâ düzeyini, yaşın ise etik muhakeme yeteneğini etkilediğini, başhemşire grubunda duygusal zekâ düzeyi arttıkça etik muhakeme yeteneğinin de arttığını belirlemişlerdir. Yüksek duygusal zekâyı ve etik muhakeme yeteneğine sahip yöneticilerin kurumsal performansı ve çalışanlar arasındaki ilişkiyi olumlu yönde etkileyeceğini fark etmişlerdir (Şen ve ark., 2013). Bu araştırmada da yöneticiler ile çalışanlar arasındaki ilişkilere odaklanılmakta, bu şekilde de söz konusu ilişkilerin zincirleme etkisi içerisinde iş etiğine ne denli bir etkinin bulunduğu anlaşılmalı çalışılmıştır ki etik değerlendirme becerisinin bu ilişkilerin yönüne bağlı olduğu anlaşılmaktadır.

Gül (2006), “Etik Dışı Davranışlar ve Ussallaştırılması: Devlet Hastanelerinde Bir Uygulama” başlıklı çalışmada, etik dışı davranışların nedenleri ve sonuçlarını sağlık çalışanları üzerinden değerlendirmiştir. Buna göre Gül'ün çarpıcı olarak

eriştiği sonuç ile etik dışı davranışların çalışanlarda verimsizliğe, düşük performansa, devamsızlığa ve moral bozukluğuna neden olduğu bulgusuna ulaşılmıştır. Ayrıca etik dışı davranışların örgüt yönetimlerinde düzenlenmesine yönelik çabaların, çalışanların verimlilik düzeylerinin yükselmesi, bağlılık ve rekabet güçlerinin artmasına yol açtığı sonucuna varılmıştır (Gül, 2006).

Şahin ve Dündar (2011), “Sağlık Sektöründe Etik İklim ve Yıldırma (Mobbing) Davranışları Arasındaki İlişkinin İncelenmesi” başlıklı araştırmalarında, örgüt yönetimi-çalışan ilişkilerini etik açıdan ele almaya çalışmışlardır. Araştırmalarında farklı değerlendirmelerde bulunan araştırmacılar, özellikle çalışanların üzerindeki iş yükünün önemi üzerinden değerlendirmede bulunmuşlardır. Buna göre uzun saatler boyunca çalışmak durumunda kalan sağlık personeli, etik odaklı unsurları daha fazla göz ardı etmektedirler (Şahin & Dündar, 2011).

Şahinoğlu ve Bebek (2018), “Araştırma görevlilerinin Bilimsel Araştırma Etiğine İlişkin Algıları” başlıklı araştırmalarında, çalışmamıza benzer şekilde nitel yöntem kullanmışlardır. Hazırlanan 8 maddelik yarı yapılandırılmış açık uçlu sorular ile basit rastgele örneklem yöntemi kullanarak katılımcılar ile yüz yüze derinlemesine görüşmeler yapmışlardır. Çalışmaya 8 araştırma görevlisi katılmış ve Etik kavramı ile ilintili 5 ana tema üzerine durmuşlardır. Bu ana temalar “ahlak, çalmamak/sahtekarlık yapmamak, kurallara uymak, dürüstlük, toplum ve yaşam olarak belirlenmiştir. Bizim çalışmamızda da ahlaklı olmak, sağlık çalışanları görevlerini yaparken etik davranmak olarak ifade edilmiştir. Kurallara uymak teması ile ilintili olarak ise “kurallara uymak doğru davranışlar geliştirir çalışma disiplini sağlar v.b şekilde olumlu değerlendirmeler yapılmıştır. Nitel araştırma desenlerinde yarı yapılandırılmış sorularla derinlemesine yüzyüze görüşmeler yapılması ve hatta katılımcının sorular dışında kendi görüşlerine de yer vermesi çalışmayı önem kazandırmaktadır. Katılımcı görüşleri sadece sorulan sorular sınırlı olmadığından konu ile ilgili sorunların belirlenmesi nitel çalışmalar bakımından önemlidir. Bu görüşmeler kayda alınarak, yazıya dökülerek, temalar ve ilgili kodlar değerlendirilmektedir.

## **2.4. Sağlık Sektöründe Etik**

Sağlık sektöründeki insan hayatına dair hassasiyet göz önünde bulundurulduğu süre zarfında, sektörün içerisinde görev alan tüm bireylerin davranışları kadar kurallar bütününe de mutlak olarak hassasiyet dâhilinde şekillendirmesi gerekmektedir. Bu açıdan, sıklıkla dile getirilen etik kavramı, sürecin içerisinde önemli bir noktayı işaret etmekte ve insan hayatını korumak adına ciddi ölçekli bir etik birikimi gerektirmektedir.

Sağlık sektöründeki etik sistem, temel olarak sağlık çalışanlarının hastalara karşı olan tutum ve davranışlarıyla, sağlık konusunda atmaları gereken adımların hepsini kapsamaktadır. Bunun içerisinde hastaların durumlarının teşhisinden şartlarının iyileştirilmesine; onlarla birebir iletişim kurulmasından sağlık süreçleri için yönlendirilmelerine kadar uzanan silsiledeki birçok farklı davranış yer almaktadır. Sağlık sektörü açısından etik, hastalara doğru şekilde yaklaşmayı içermektedir (MEGEP, 2015).

Sağlık Sektöründe etik açısından önem arz eden noktaların başında, sektörün içerisinde yer alan görevlilerin, özellikle de doktorların hastalarla olan ilişkilerindeki uygulamaları ve hastalara bakış açıları gelmektedir. Sektörün genelinde, hastaların varlığı ve içerisinde buldukları rahatsızlıklar son derece önemli olmakla birlikte hastaların tercih haklarının da dikkatle dinlenerek

onlara yol gösterilmesi son derece önemlidir. Bu nedenle sağlık sektöründe etik, hastaların karşısındaki duruşla belli olmaktadır (Türk Kardiyoloji Derneği, 2009).

Öte yandan sağlık sektörü, dünya genelinde, üzerindeki politikaların en fazla değişim göstermiş olduğu alanlardan biridir. Bu nedenledir ki etik sistemleri ve algılamaları da bu süreçte belirli yönde bir değişim yaşayabilecektir. Genel olarak etik konuların, alışlagelmiş olunan şekilde devam etmesi son derece doğal karşılansa da değişen dünya şartları dahilinde, etik unsurların da zamanla değişim içerisine girmesi söz konusudur. Bu nedenle sektörün içerisinde yer alan tüm unsurlar, mutlak olarak değişen şartları göz önünde bulundurmak ve etik standartları da buna göre şekillendirmek durumundadırlar (Roberts, 2010).

## 2.5. Sağlık Sektörü Çalışanlarında Etik

Etik tutum ve davranışlar sergilenmesi adına en kritik alanlardan biri olarak dikkati çeken sağlık sektörü ve özellikle çalışanları temelinde bu sürecin önemli bir bölümünü sürdürmektedir. Bir başka deyişle sağlık sektörü çalışanları, sektörün etik ilkelerini gözetmek ve bu vesile ile de hastalara destek olmak durumundadırlar. Aynı zamanda sağlık çalışanlarının etik algıları, sağlık kuruluşlarının da etik algılarının bir yansımasını oluşturmaktadır.

Sağlık sektörü çalışanlarının etik anlayışları, çoğunlukla tıp etiği temelinde değerlendirilmektedir. Tıp etiği, tıbbi anlamda gerçekleştirilen tüm müdahalelerin, yönlendirmelerin ve değerlendirmelerin, sağlık açısından insanların bekasını düşünmek üzere oluşturulan değerler bütününü ifade etmektedir. Geniş bir kavramsal çerçevesi olan tıp etiği, sadece sağlık operasyonlarını değil, sağlık sektörü içerisindeki tüm yönetim süreçlerini de kapsamaktadır (Uğur, 2011).

Tıp etiği, sağlık sektörünün içerisinde, herhangi bir noktada çalışan bir birey için görevini tam olarak yerine getirmenin çok ötesinde bir kavramı ifade etmektedir. Buna göre tıp etiği, süreç olarak insan hayatını doğrudan ilgilendirecek nitelikteki tüm tıbbi olayları, nitelikli bir şekilde değerlendirmek ve insanların sağlıklarının sürdürülebilirliğine hizmet etmek adına birçok kuralın ve normun göz önünde bulundurulmasıyla ortaya çıkmaktadır (World Medical Association 2015, World Medical Association 2008).

Sağlık alanı, önceliğin maddi çıkarlara verilerek değerlendirmeye tabi tutulacak bir alan olarak değerlendirilmemelidir. Bu noktada ön planda olması gereken, insan sağlığıyla birlikte yardım etme konusunda bireylerin her birini eşit olarak değerlendirme becerisidir. Tıbbi etik bu şekilde ortaya çıkmakta ve ayrımcılığın olmadığı bir ortamda daha da güçlenmektedir. Ayrıca sağlık sektörü içerisindeki herkesin, özellikle de sağlık çalışanlarının mesleğe olan inançları giderek artmaktadır. Bu nedenle de sağlık sektörü çalışanları açısından etik algısı yerleşik bir hal almaktadır (Tepecik ve Yazıcı, 2012). Sağlık çalışanlarının yoğun bir şekilde insanlarla etkileşim içerisinde olduğu düşünüldüğünde bu etik anlayışına olan katılım ve uyumları kritik bir değere sahiptir.

Tıp etiğinde ön plana çıkarılan ve sağlık sektöründe çalışan tüm bireylere uymaları konusunda yönlendirmede bulunulan ilkeleri aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür (MEGEP, 2011):

- Otonomi ilkesi: Otonomi ilkesi, hastaların haklarına saygı göstermek ve tıbbi bakım ile ilgili kararlara onların katılımını sağlamaktır.

- Yararlılık İlkesi: Tıp etiğinin, en eski ilkesi yararlılık ilkesidir. Bu ilke, sayesinde sağlık çalışanı hastanın yaşamına destek verir, onu tedavi ederek ağrı ve acısını dindirir. Her durumda hastaya yararlı olur. Tıp etiğinde yararlılık ilkesine koşut giden ilke kötü davranmama ilkesidir.

- Aydınlatılmış Onam İlkesi: Hastaya tıbbi bilgilerin doğru ve yeterli biçimde açıklanmasını isteyen ilkedir. Bu ilkenin gerçek bir aydınlatılmış onam olması için hastaya verilmesi gereken bilgilerin açıkça verilmiş olması, bilginin anlaşılır olması, hastanın gönüllü ve bunların sonunda hastanın onam vermiş olması gerekmektedir.

- Adalet İlkesi: Bu ilke, tıbbi kaynakların ihtiyaca göre dürüstçe ve hakça paylaşılmasını gerektirmektedir. Bu ahlaki ilke ile tedavi ve bakımda, kullanılan araç gereç ve teknik donanım kaynakları, hastanın bireysel gereksinimleri belirlenerek eşitlik ilkesine uygun olarak dağılımı sağlanır.

- Dürüstlük ve Doğruluk İlkesi: Bu iki ilke, hasta ve ailesine gerçeği söyleme, dürüst olma, yalan söylememe zorunluluğunu getirir. İnsanlar kendileri hakkındaki gerçeği öğrenmeye ve yalan söylenilmemesi hakkına sahiptir. Böylece sağlık personeli, hasta ve ailesi arasındaki ilişkilerin, dürüst, güvenilir bir ortamda kurulması sağlanır.

- Sır Saklama İlkesi: Sağlık personeli, sağlık bakım kurumunda hastalar hakkında öğrendiği tüm bilgileri gizli tutmak durumundadır.

Yukarıda sıralanan unsurlara bakıldığında, sağlık sektöründeki çalışanların ve sektörün genel şartlarının, aslında tamamıyla hastaların ve ihtiyaç sahiplerinin sağlıklarını ve kimlikel değerlerini korumaya odaklandığını göstermektedir. Genel olarak sağlık sektöründe etik denem unsur hem maddi hem de manevi anlamda söz konusu olmaktadır. Hastaların sağlık durumlarının iyileştirilmesine dair çabalarla birlikte aynı zamanda genel durumlarına dair bilgilerin gizliliğinin sağlanması, sağlık sektörünün maddi ve manevi anlamdaki etik unsurlarının teşkil etmektedir.

Etik konusu sağlık sektöründe genellikle, hastalara dair etik unsurlar temelinde ele alınsa da aslında sürecin içerisinde sağlık sistemlerinin yönetimi konusu da bulunmaktadır. Bu noktada yönetsel etik unsurlar devreye girmektedir. Yönetsel etik açısından bakıldığında hizmetlerin ve hizmetler için gerekli malzeme ve materyallerin sağlanması konusu da sürecin oldukça önemli bir bölümüdür. Yönetim tarafından tıbbi malzemelerin satın alımı, kalitesi, kullanım özellikleri ve hastaların ihtiyaçlarına göre bu unsurların değerlendirilmesi sürecin etik tarafını oluşturmaktadır. Diğer yandan çalışanların, hastaların ihtiyacı olmayan sağlık ürünlerini onlara pazarlamaya çalışması, gereksiz yere kullanılan ilaçlar, kullanılmayan tıbbi ürünlerin hastalara fatura edilmesi vb. tüm yasa dışı sayılabilecek unsurlar, sağlık çalışanları açısından etik olmayan unsurları teşkil etmektedir (Avcı & Teyyare, 2012).

Sağlık çalışanları açısından süreçte belki de etik dışı unsurların temelini oluşturan en önemli konu hastaların ihtiyaçları dışındaki unsurları satın almaya yönlendirilmeleridir. Gerek hizmet gerekse tıbbi malzeme konusunda hastaların istekleri, tedavi süreçlerinin gereksinimleri dışındaki yönlendirilme şekilleri, sağlık sektöründe etik açıdan kritik bir durumu teşkil

etmektedir. Özellikle de yüksek getirisi olacağı düşünülerek hastalara gereğinin dışında tıbbi unsur verilmesi, tıbbi cihazlarla olan etkileşimlerinin yine ticari kaygılarla üst düzeye çıkarılması, sağlık sektörünün etik olmayan boyutunu ifade edeceği gibi hastaların sağlığını da ciddi ölçekte tehdit edecektir (Durmaz & Erdem, 2017).

### 3. Materyal ve Metot

Çalışmada yüz yüze derinlemesine görüşme tekniği uygulanmış ve görüşmeler kayıt altına alınmıştır. Sonrasında görüşmeler word'e akatarılarak değerlendirme yapılmıştır.

Araştırmanın tarihi ve evreni; Şubat- Nisan 2021 tarihleri arasında İstanbul İli içerisinde kamu ve özel hastanelerde görev yapan sağlık çalışanlarını kapsamaktadır. Katılımcıları belirlemek için amaçlı örnekleme yöntemlerinden ölçüt örnekleme kullanılmıştır. Kriter temelli örnekleme olarak da bilinen ölçüt örnekleme araştırılan olguya yönelik deneyimlere sahip kişileri temsil eden bireylerden seçilir (Creswell J.W 2013). Bu bilgi doğrultusunda ve araştırma kapsamında katılımcılar aşağıdaki ölçütler belirlenerek tespit edilmiştir: Sağlık alanında çalışmış veya çalışıyor olmak, farklı hastane ve farklı kliniklerde çalışıyor ya da çalışmış olmak, hemşire ve sağlık teknikeri olarak çalışıyor olmak olarak belirlendi.

Bu doğrultuda araştırmanın örneklemini farklı kliniklerde (onkoloji, kemoterapi, cerrahi, palyatif bakım) çalışan hemşireler ve teknikerler (radyoterapi, nükleer tıp, anestezi) oluşturmaktadır. Charmaz, veri toplama sürecinin temaları doygunluğa ulaştığında sonlandırılması gerektiğini vurgulamaktadır. Yeni verilerin toplanmasıyla ilgili yeni bakış açıları veya yeni özellikler ortaya çıkmadığında görüşmelerin durdurulmasını önermiştir (Creswell J.W 2013). Bu görüş ışığında, araştırma kapsamındaki katılımcıların verilere verdikleri cevaplar aynı şekilde tekrarlamaya başladığı gözlenmiştir ve veri toplama süreci ve 10. Katılımcı sonrası sonlandırılmıştır.

Yapılan araştırma sonucunda elde edilen bulgular, görüşmeye katılan sağlık çalışanları; hemşire ve teknikerler ile sınırlı bulunmaktadır. Bu nedenle farklı hastanelerdeki farklı sağlık çalışanları ile yapılacak araştırmalar için sonuçlar o araştırmanın analizine göre analiz edilmesi gerekmektedir. Araştırmanın

kapsamında ele alınmış olan değişkenlerin zaman zarfında değişime uğrayabileceği değerlendirilmelidir. Bu çalışmanın verileri Şubat-Nisan 2021 tarihleri arasında elde edilmiştir.

Bu çalışmada sağlık çalışanlarının Yönetsel etik (kurum ve klinik), mesleki etik, sağlık etiği, etik sorunlar, etik ikilemler, yazılı kuralların etkisi konusunda görüşlerinin değerlendirilmesine yönelik nitel araştırma yapılmıştır. Araştırmacı tarafından alanında uzman kişilerin görüşleri de alınarak, 9 maddelik yarı yapılandırılmış açık uçlu sorular hazırlanmıştır. Hazırlanan bu sorular çerçevesinde sağlık çalışanları ile derinlemesine görüşmeler yapılmıştır. Bulguların içeriği bağlamında; kamu ve özel hastanede görev yapan sağlık çalışanları ile Covid 19 salgını nedeniyle, hastane dışında rahat bir ortamda görüşleri alınarak veriler elde edilmiştir. Bu veriler sonucunda görüşleri incelenmiştir. Bu görüşler betimleyici analiz yapılarak kodlar ve temalar çıkarılarak içerik analizi yöntemiyle değerlendirme yapılmıştır. Bu verileri değerlendirmek için MAXQDA 2020 veri analiz programı kullanılmıştır.

Nitel araştırma yönteminin tercih edilme sebebi, araştırmanın içinde bulunan örnekleme grubunun sahip olduğu deneyim ve davranışlarından doğan anlamların doğal ortamda, gerçekçi ve bütüncül bir biçimde sistematik olarak incelenebilmesinde kullanılan bir teknik olmasıdır (Creswell, 2013). Nitel araştırmanın bir diğer özelliği ise keşfedici olmasıdır. Bu özelliği taşıyan araştırmaların kullanışlı ve yararlı yönlerinden biri, az çalışılmış konuları aydınlatıp açığa çıkarmasıdır (Neuman, 2007).

## 4. Araştırmanın Bulguları

### 4.1. Demografik Dağılım

Araştırmaya katılan sağlık çalışanlarının demografik özellikleri aşağıdaki tabloda verilmiştir. Çalışanların cinsiyete özel değişkenlerine bakıldığında %80'i kadın, %20' si erkek olarak belirlendi. Sağlık çalışanlarının çalışma süresini belirten değişkenler; %50'si 0-5 yıl, %30'u 6-10 yıl, %20'si ise 11-20 yıl arasında olduğu görülmektedir. Çalıştıkları kuruma bakıldığında ise %50 çalışanın devlet kurumunda, %50 çalışanın ise özel kurumlarda hizmet verdikleri görülmektedir. Çalışmaya katılan çalışanların %60'ı hemşire, %40'ının ise tekniker olduğu tespit edilmiştir (Tablo 1).

Tablo 1. Demografik Dağılım

CİNSİYET	Sıklık	%
Kadın	8	80,00
Erkek	2	20,00
Toplam	10	100,00
ÇALIŞMA SÜRESİ		%
0-5 Yıl	5	50,00
6-10 Yıl	3	30,00
11-20 Yıl	3	20,00
TOPLAM	10	100,00
HASTANE TİPİ		%
Özel	5	50,00
Kamu	5	50,00
Toplam	10	100,00
MESLEK GRUBU		%
Hemşire	6	60,00
Tekniker	4	40,00
TOPLAM	10	100,00

## 4.2. Kavram Haritası Temalar, Kodlar ve Alt Kodlar

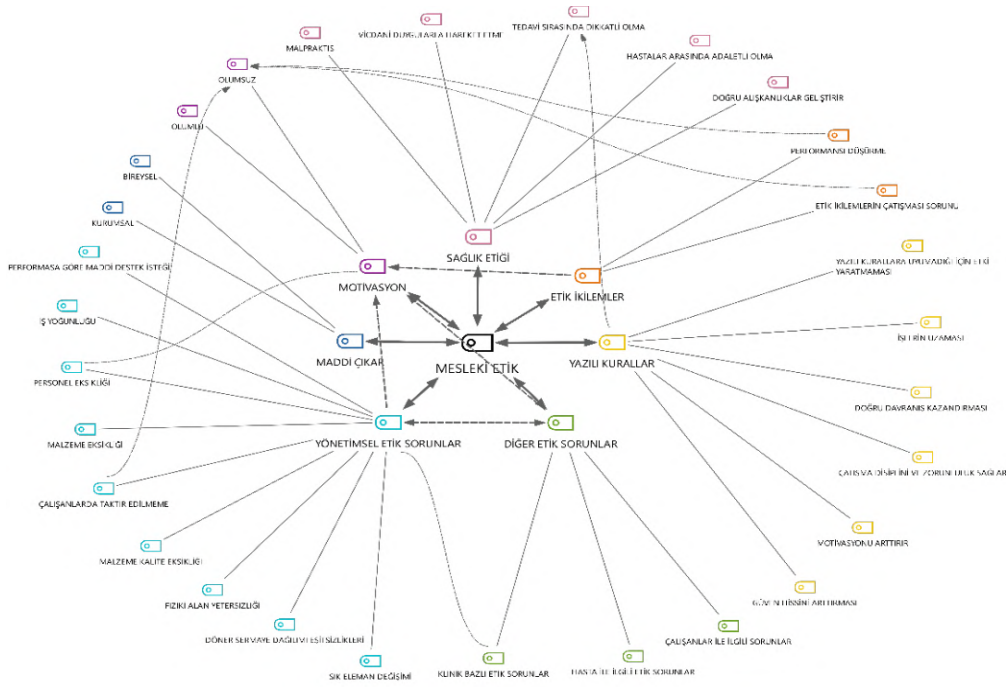
Farklı hastane ve klinikte görev yapan sağlık çalışanları “çalıştığınız klinikte çalışma yoğunluğunuz nasıl? Sorusuna tamamı yoğun bir tempoda çalıştıklarını ifade etmişlerdir. Etik kavramı çerçevesinde sorulan sorulara karşılık elde edilen verilere göre kavram haritası, temalar ve kodlar oluşturulmuştur.

Çalışmaya katılan sağlık çalışanları meslek etiği çerçevesinde 7 ana tema üzerinde durmuşlardır. Elde edilen veriler sonucunda ilk tema sağlık etiği temasıdır. Sağlık etiğinin 4 alt kodu tespit edilmiştir. Bu kodlar; tedavi sırasında dikkatli olma, hastalar arasında adaletli olma, vicdani duygularla hareket etme ve malpraktis şeklindedir. Diğer ana tema “yönetimsel etik sorunlar”

temasıdır. Doğrudan ve dolaylı olarak 9 alt kod belirtilmiştir. Bu anlamda en fazla alt koda sahip olan bu tema en fazla vurgulanan ve etkin olan bir özellik taşımaktadır. Üçüncü olarak “yazılı kurallar” temasının doğrudan ve dolaylı olarak 6 alt kodu tespit edilmiştir.

4. tema “diğer etik sorunlar” teması altında 3 maddelik alt kod tespit edilmiştir. Etik ikilemler, motivasyon, maddi çıkar

temalarının alt kodları ise 2 şer madde olarak belirlenmiştir. Kavram haritası kodlar ve alt kodlar şekil 1’de yer verilmiştir.



Şekil 1. Kavram Haritası Kodlar ve Alt Kodlar

## 4.3. Temalar

Elde edilen veriler sonucunda etik sorunlar Mesleki Etik kavramı çerçevesinde 7 ana tema olarak tespit edilmiştir. Meslek etiği kavramı çerçevesinde ana kodlar:

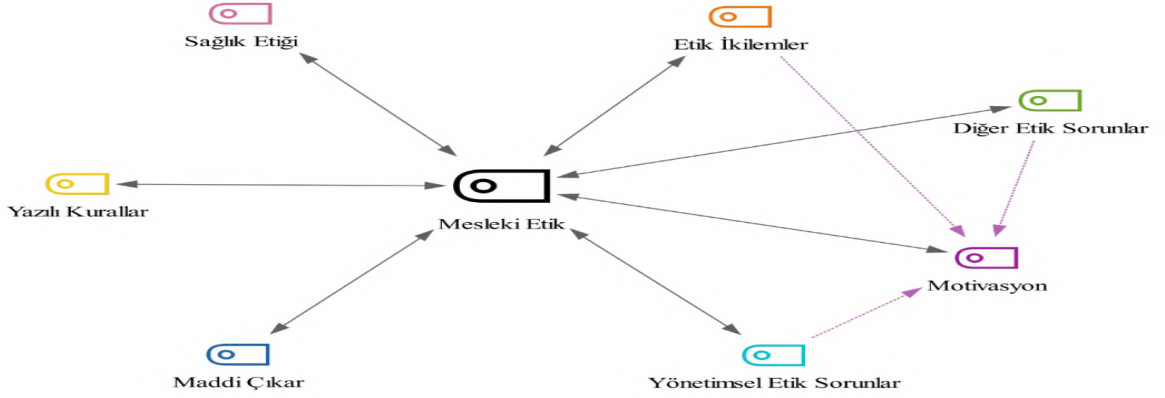
- \* Sağlık Etiği
- \* Etik İkilemler
- \* Motivasyon
- \* Yönetimsel Etik Sorunlar
- \* Diğer Etik Sorunlar
- \* Maddi Çıkar Elde Etme
- \* Yazılı Kurallar olarak belirlenmiştir.

## 4.4. Mesleki Etik Teması ile İlgili Kodlar

Meslek Etiği tüm mesleklerin uyması gereken etik kuralların tümünü ifade etmektedir. Sağlık Etiği mesleki etik davranışların içerisinde en önemlisidir diyebiliriz. Çünkü icra edilen hizmet insan faktörü ile ilgilidir ve sıklıkla yapılan hataların geri dönüşümü yoktur.

Mesleki etik teması sağlık etiği, etik ikilemler, yazılı kurallar, yönetimsel etik sorunlar, maddi çıkar elde etme, motivasyon ve diğer etik sorunlar teması ile doğrudan ilişki içerisinde olduğu

belirtilmektedir. Diğer etik sorunlar, yönetsel etik, etik ikilemler temalarının ise motivasyon temasına vurgu yaptığı belirlenmiştir.



Şekil 2. Mesleki Etik Teması ve Altkodları

“Mesleki etik kurallar nedir? çalışırken sizi ne şekilde etkilemektedir? Açıklarmısınız?” sorusuna sağlık çalışanlarının verdiği bazı ifadeler:

“Sağlıkta mesleki etik oldukça önemlidir. Çünkü sağlık hizmetleri çok hassastır. Burada hizmet insan faktörüdür ve yapılan hatanın geri dönüşümü bazen yoktur. Mesleki etik kuralların uyulmaması malpraktis dediğimiz sağlıkta ciddi tedavi ve hasta hatalarının artmasına neden olur” (K 20).

“Gece nöbetinde hemşire zamanında ilacını içirip vital bulgularını almazsan hastada ciddi sorunlar olabilir” Mesleki etik kurallar bizi şu şekilde etkiler mesela Hastaya kullanılan malzemelerin kaliteli olmaması sonucu hastaya yeterince hizmet edilememekte ve bu şartlarda çalışmak motivasyon bozukluğuna sebep olmakta” (K18, K6).

“Hangi meslek grubunda olursa olsun meslek sahiplerinin benimsemesi gereken davranış biçimleridir diyebiliriz. Çalışırken bazen kendimizce bazı alışkanlıklar geliştiririz. İşte bu

alışkanlıkların etik ilkelere ve deontolojiye uygun olması önemlidir” (K12).

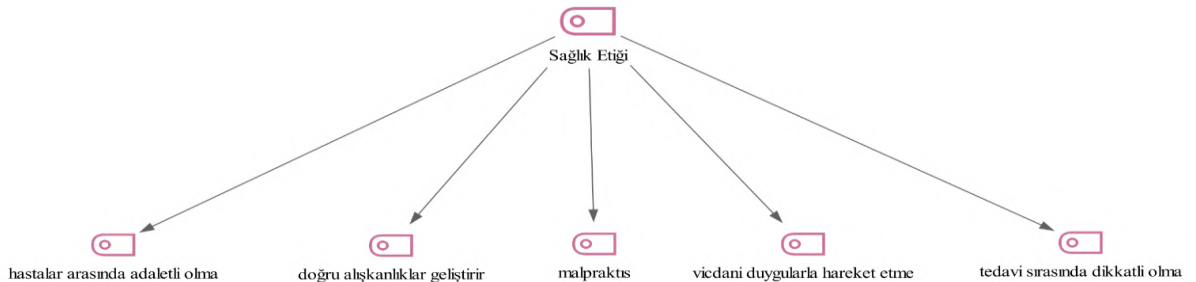
“Meslek etiğine uymayan davranışlar; örneğin doktorumuz hastadan tetkik istiyor. MR veya başka bir tetkik istiyor. Hastaneye yakın birkaç özel merkez var doktorun hastayı bu merkezlerden birine özellikle yönlendirmesi, kendi aralarında anlaşıp menfaat elde etmeleribana göre çok yanlış (K13).

“Hastalar sıra beklerken sekreterin o sırada başka arkadaşıyla sohbet etmesi veya yoğunluğu aldırmadan çay molası vermesi burada sekreterin yaptığı mesleki etiğe uymadığı gibi onu uyardıran sorumlu hemşirenin hareketi de mesleki etiğe uymaz. Zaman Zaman bu tarz olaylar yaşanıyor”.

“Mesela hastalar arasında mümkün olduğunca adaletli davranmaya çalışıyorum. İletişim esnasında eşit zaman ayırmaya çalışıyorum” (K17).

#### 4.5. Sağlık Etiği Teması ve Alt Kodları

Tüm meslek gruplarında yapılması gereken ve yapılmaması gereken davranışlar olarak belirlenen mesleki etik kavramının en önemli temalarından biri sağlık etiği ve uyulması gereken etik ilkelere. Sağlık etiği alt kodları şekil 3’de verilmiştir. Sağlık etiği temasına ilişkin 5 kod belirlenmiştir.



Şekil 3. Sağlık Etiği Teması ve Alt Kodları

Mesleki etik kurallar ve sağlık etiği çalışırken sizi ne şekilde etkilemekte? Açıklarmısınız? Sorusuna karşılık sağlık etiği temasına oluşturan ifadeler aşağıda yer almaktadır.

“Tüm mesleklerde olduğu gibi mesleki özellikle sağlık etiği çok önemli bazen motivasyonu artırır bazen tam tersi olur. Özellikle vicdani bir yanı da vardır (K5). Ama işte çalışma sahasında hayaller ve gerçekler farklı.

Sağlık etiği topluma karşı işte hastalarımıza karşı olan sorumluluğumuzu ifade etmektedir. Hastaya yaptığımız güzel bir davranış onu mutlu eder ve karşılığında iyi hissederiz bir duası bizim motivasyonumuzu artırır” (K7).

“İşte hastalar sıra beklerken sekreterin o sırada başka arkadaşıyla sohbet etmesi veya yoğunluğu aldatmadan çay molası vermesi (K22) burada sekreterin yaptığı mesleki etiğe uymadığı gibi onu uyarmayan sorumlu hemşirenin hareketi de mesleki etiğe uymaz. Zaman Zaman bu tarz olaylar yaşanmaktadır.”

“Sağlıkta mesleki etik oldukça önemlidir. Çünkü sağlık hizmetleri çok hassastır. Burada hizmet insan fakrörüdür ve yapılan hatanın geri dönüşümü bazen yoktur.

Etik kuralların uyulmaması malpraktis dediğimiz sağlıkta ciddi tedavi ve hasta hatalarının artmasına neden olur (K20).

Gece nöbetinde hemşire zamanında ilacını içirip vital bulgularını almazsan hastada ciddi sorunlar olabilir”

“Sağlık etiği diğer meslek gruplarına göre daha hassastır. O yüzden doğru alışkanlıklar geliştiririz (K12) çünkü yapılacak hatalar insan canına mal olacaktır. Hastaya kendi anamız babamız gibi vicdanlı davranırız. (K5) En basiti kan alırken

damar yolu açarken hassas olmalıyız sonuçta karşımadaki hasta ya da çocuk... dikkatli olma ve yetenekli olmaya mecburuz” (K16).

“Sağlık etiği bence tüm hastalar arasında adaletli değildir (K17) vicdandır (K5), dikkatli değildir” (K16).

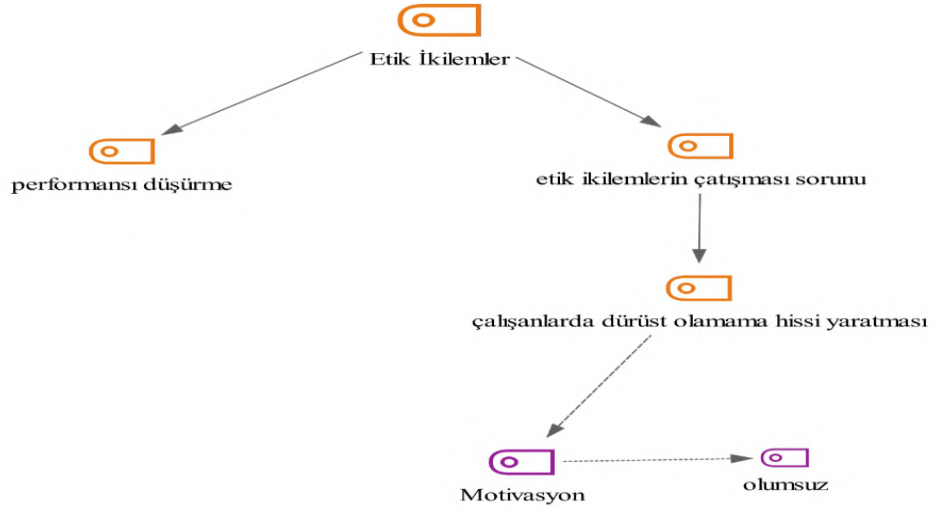
“Mesela hastalar arasında mümkün olduğunca adaletli davranmaya çalışıyorum. İletişim esnasında eşit zaman ayırmaya çalışıyorum” (K17).

“Yani özel odadaki hasta ile kurduğum iletişim şekli ve zamanı diğer odadaki hastalarla da aynı şekilde olmasını dikkat etmekteyim” (K16, K17).

“Hastalar ve hasta yakınlarına eşit mesafede yaklaşırım. Mesela bir hasta ile olumlu ilişkiler kurarken, sözel iletişim kuararken diğer hasta içinde aynı şekilde iletişim kurmaya çalışırım. İletişim kurmak için geçirdiğim zamanı diğeri içinde aynı şekilde uygulayırım, bana göre adaletli olmak herkese eşit yaklaşmak çok önemli” (K17).

#### 4.6. Etik İkilemler Teması ile İlgili Kodlar

Sağlık çalışanlarının ifadelerinde en fazla yer verdikleri tema etik ikilemler temasıdır. Etik ikilemler sağlık alanında sık sık karşılaşılan durumlar olarak ifade edilmektedir. Etik ikilem ve alt kodlar şekil 4’de yer verilmiştir.



Şekil 4. Etik İkilemler Teması ve Alt kodları

Etik ikilemler sağlık sektöründe görev yapan çalışanların sık karşılaştıkları durumlardan bir tanesidir. Özellikle onkoloji ve palyatif bakımda çalışan hemşireler ya da teknikerlerin hastalıkları ve prognozları nedeniyle net bilgi vermemeleri hastanın hastalığı ile ilgili bilgi alma hakkı ile ters düşmektedir. Bu gibi durumlar karşılaşılan sağlık çalışanlarının duygu

durumlarını da etkilemektedir. Nitekim yapılan çalışmada elde edilen verilere göre etik ikilemlerin çalışanların motivasyon ve performansları üzerinde etkili olduğu ifade edilmiştir.

Sağlık sektöründe ya da çalıştığınız klinikte yaşadığınız etik ikilemler nelerdir? Konu ile ilgili neler söylersiniz? Sorusuna verilen ifadelerden bazılarına aşağıda yer verilmiştir.

“Ölmek üzere olan hastalara ve yakınlarına tedavi yapmaya devam ediyoruz hasta ve yakınına öleceğini söyleyemiyoruz. Ölecek olan hastaya o kadar çok ilaç ve kan takmak ve bu masrafı yapmak ne kadar doğru...boşuna yapılan işlemler ve ekonomik olarak boşa giden masraf” (K18).

“Hasta ve yakınlarına bilgi verme aşamında etik sorun yaşıyoruz. Hastalarımız onkoloji hastası prognozları kötüye gidiyor. Bazen hastanın durumu kötü diyemiyoruz. Hasta bilgi almak istiyor ben kansermiyim diyor hayır önlem için ışın yapıyoruz diyoruz çünkü hastanın çocukları hastalığını söylememizi istemiyor” (K15).

“Bizim ya da ne bileyim benim yaşadığım sorun hastaya hastalığı ile ilgili bilgi verememek...çünkü hasta ya tedaviye alırken hasta soruyor “bu tedaviyi niye yapıyorsunuz hastalığım kötü mü diye? aslında hastanın kendi hastalığı ile ilgili doğru bilgi alma hakkı var fakat olmuyor. Hasta yakını bize sıkı sıkı tembih ediyor aman hastalığını söylemeyin diye” (K15).

“Hemşirelik mesleğinde sorumluluk verirler, sorumluluk vardır ancak yetkin yoktur...görev tanımında belirsizlikler yaşarsın...doktor bir görev verir görevin olmadığı halde bazen

hayır diyemezsin. Hayır dediğinde ise doktor kendine saygısızlık yapıldığını sürer ve iletişim veya ilişki bozulur. Hatta kin gütmeye kadar gidilebilir” (K4).

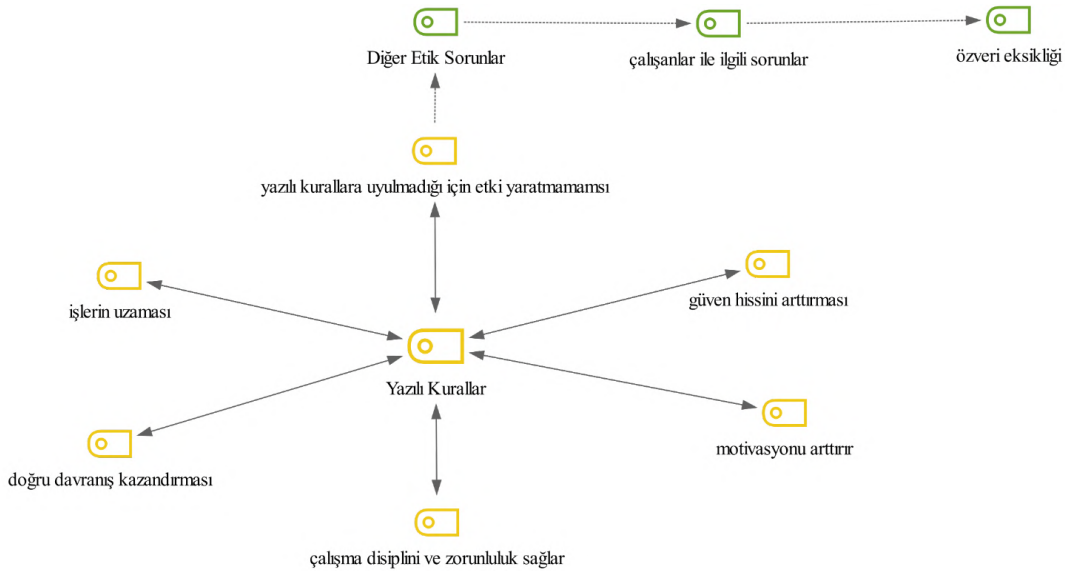
“Bu etik ikilemler veya problemler beni etkiliyor. Sanki dürüst değilmişim gibi geliyor motivasyonuma etkiliyor. Bir de hastayla duygusal bağ oluyor zamanla bu beni takılıyor hatta performansımda etkileniyor. Dürüst değilmişim gibi geliyor (K24).

Hasta ve yakınlarına doğru bilgi veremiyoruz hasta ölecek burada tutmanıza gerek yok diyemiyoruz (K18).

Enbüyük etik ikilem doktorların döner sermayeden faydalanması ama bizim daha çok çalışmamız (K18).

#### 4.7. Yazılı Kurallar Teması ile İlgili Kodlar

Elde edilen veriler yazılı kurallar ile ilgili olarak 6 alt kod ile doğrudan, 3 alt kodla dolaylı olarak bağlantılı olduğu tespit edilmiştir. Bu alt kodlara şekil 5’de yer verilmiştir.



Şekil 5. Yazılı Kurallar ve Alt Kodları

Çalışanların verdiği ifadelerle göre yazılı kurallara uyulmaması sonucunda diğer etik sorunlar ve özveri eksikliği kodlarına ulaşılmaktadır. Ancak yazılı kurallara uyulması olumlu sonuçlar doğurması açısından önemlidir.

Çalışanlara sorulan “yazılı kurallar sizi ne şekilde etkilemektedir?” sorusuna ve verilen cevapların bazıları aşağıda yer almaktadır.

“Yazılı kurallar çalışırken hem kendimi güvende hissetmeme neden olurken diğer açıdan daha dikkatli çalışmam gerektiği yönünde beni motive etmektedir” (K11).

“Yazılı kurallar aslında davranış kazandırdığı gibi bazı zamanlarda da işlerimizin uzamasına neden oluyor” (K19)

“Nelerin yapılmaması ve yapılması gerektiğini ikaz ettiği için ona göre davranırım” (K19).

“Yazılı kurallar bizi uymamız gereken kuralları daha ciddiye alarak uymamızı sağlar. O anlamda önemli bence. Hastaneye giriş saatimiz 8:15 fakat yazılı kurallar olmasaydı herkes daha esnek gelirdi. Kart basmak bu yazılı kuralların uyulması konusunda konulmuş bir kurallardır ve zamanında gitmeyen kişiler uyarılar ya da savunması alınır. Yazılı kurallar bana göre yazısız kurallardan daha etkili olduğunu düşünüyorum” (K19).

“Kurallara uyulmasını sağlıyor” (K19)

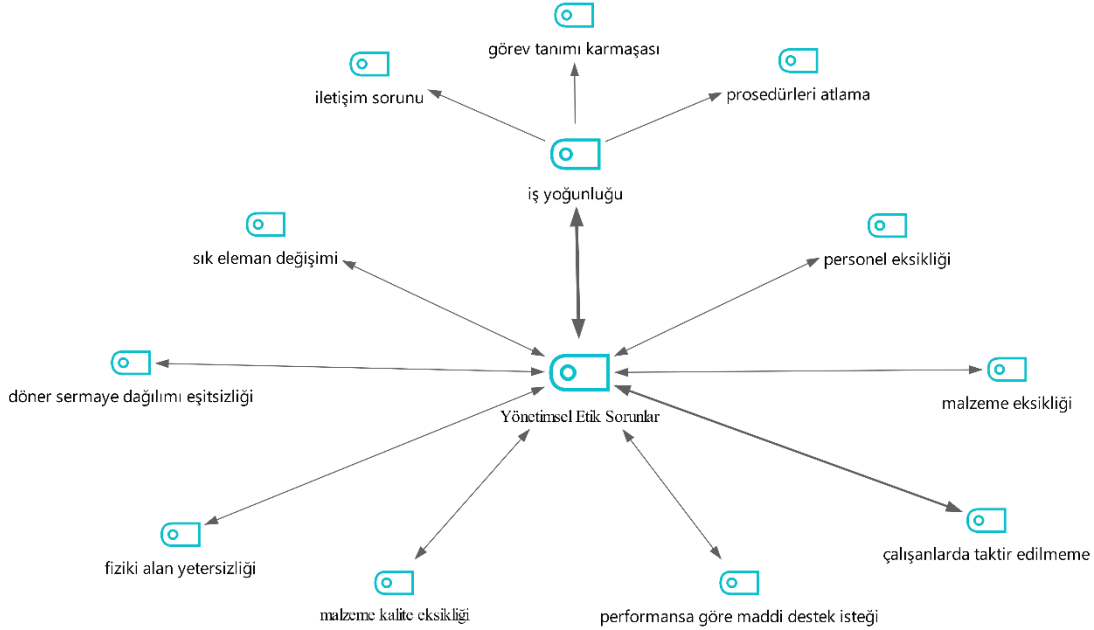
“Türkiye şartlarında yazılı kurallara uyulmamaktadır Ancak işi kaybetme korkusu açısından uyulmalı olarak ezberletilmiştir” (K26)

“Yazılı kurallar aslında davranış kazandırdığı gibi bazı zamanlarda da işlerimizin uzamasına neden oluyor” (K11).

#### 4.8. Yönetimsel Etik Sorunlar

Sağlık çalışanlarının etik konusunda yaşadıkları diğer sorunlar ise yönetimden kaynaklanan etik sorunlardır. Bu durum

diğer etik sorunlarında beraberinde getirmektedir. Çalışmada sık vurgulanan yönetimsel etik sorunların, sağlık çalışanlarını olumlu ve olumsuz yönde motive ettiği ve hatta performanslarını da etkilediği ifade edilmektedir. Yönetim temelli etik sorunlar ile ilgili alt kod'lar şekil 6'da yer almaktadır.



Şekil 6. Yönetim Temelli Etik Sorunlar ve Alt Kodlar

Görüşmelerden elde edilen sonuçlara göre, çalışanların performansı ve motivasyonlarını etkileyen unsurların başında yönetimin uyguladığı tutum ve davranışlar olarak belirtilmiştir. Yönetimsel bazdaki bu sorunlar kurum temelli yönetimsel sorunlar ve klinik temelli yönetimsel sorunlar olarak 2 şekilde ifade edilmiştir. İş yükü, malzeme yetersizliği, eleman yetersizliği, sık eleman değişimi v.b konular kurumsal yönetim temelli etik sorunları ifade etmektedir. Tecrübeli elemanların değer görmemesi, uzmanlık alanına göre çalışanlar arasında eşitsizlik, gereksiz tetkik isteme v.b. sorunlar ise klinik yönetimi bazında ortaya çıkan etik sorunlar olarak belirlenmiştir.

Sağlık çalışanlarına “hastane ve çalıştığınız klinikte hangi konularda etik sorunlar yaşıyorsunuz? Sorusu ve verilen ifadeler aşağıda yer almaktadır.

“Örneğin doktorumuz hastadan tetkik istiyorMR istiyor... hastaneye yakın birkaç özel merkez var doktorun hastayı bu merkezlerden birine özellikle yönlendirmesi...kendi aralarında anlaşım menfaat elde etmeleri diyebiliriz (K13).

“Valla birçok konuda yaşıyoruz...görev tanımımızdaki belirsizlikler (K4), her işi yapıyoruz, işleri yetiştirme adına hastayla iletişim gerektiği gibi kuramıyoruz (K2). Hatta bazen onam formu almayı unutup sonradan alıyoruz bu bir risk hem hasta hem de bizim için...”

“Ben klinik sorumlusu olarak hemşire arkadaşlarıma hoşgörülü ve anlayışlı bir tutum sergilediğim için çalışanlar tüm e-ISSN: 2148-2683

yukardaki olumsuzluklara rağmen birbirlerine bağlı ve motive olarak çalışıyor. Enerjimiz ve olumlu tutumumuz ile birbirimizi etkiliyor performansımızı ve motivasyonumuzu artırmaya çalışıyoruz. Halbu ki bize maddi anlamda katkı sağlansa ve eksik eleman değişimi, olmasa performansımız daha da artar (K2), Sık eleman değişimi, döner sermayeden maddi ek ödeme olmaması ve hastaları çoğunlukla ölmesi” (K23).

“Hastane yönetimi ya da amirler tarafından takdir görmeme, iş yükü sonucu iletişim eksikliği ya da bazı prosedürleri atlama, hasta ya da yakınına bilgi verme konusunda etik sorunlar yaşıyoruz. işte bir de biraz önce anlattıklarım var (K2, K7).

“Ancak bizden kaynaklı olmayan bir takım yönetimsel sorunlardan dolayı etik kurallar ihlal edilebiliyor. Mesela malzeme eksikliği gibi...örneğin temizlik personeli eksikliği gibi nedenler (K3, K6) hasta yakınları bazen hafta sonları çarşaf bulamadıklarını veya çöplerin zamanında alınmaması gibi nedenlerle şikayetçi olabiliyor”.

“Böyle durumlarda bize yansıyan olumsuzluklar motivasyonumuzu kırıyor...ya da işte etik kurallara uymaya gayret ettiğimiz ve olumlu dönüşler aldığımızda idarenin yönetim bazında bize bir teşekkür etmesi bile bizim performansımızı artırmasına yetiyor diyebilirim (K7).

“Hastaya kullanılan malzemelerin kaliteli olmaması sonucu hastaya yeterince hizmet edilememekte ve bu şartlarda çalışmak motivasyon bozukluğuna sebep olmakta” (K23).

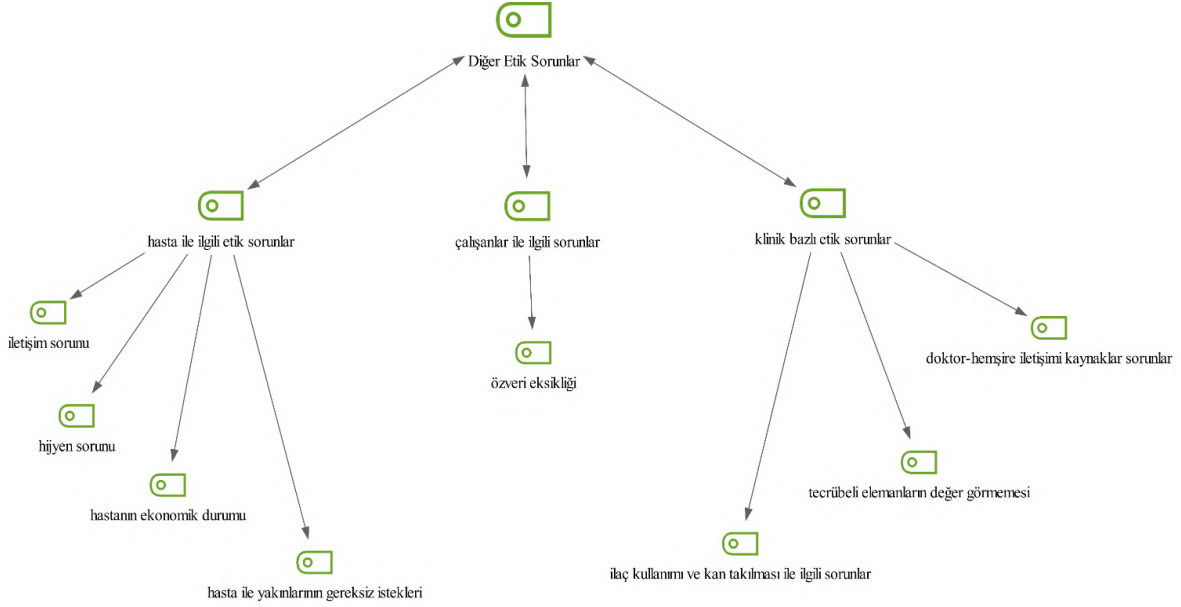


“Yöneticilerin yeterince çalışanlarına ilgi alaka göstermemesi” (K7).

#### 4.9. Diğer Etik Sorunlar Teması ile ilgili Kodlar

Etik sorunlar tüm mesleki alanlarda olduğu gibi sağlık alanında da farklı boyutları ile incelenmiş ve değerlendirilmiştir. Diğer etik sorunlar teması altındaki kodlar; hasta ile ilgili sorunlar

(iletişim, hijyen, hastanın ekonomik durumu, hasta ve yakınlarının gereksiz istekleri), çalışanlar ile ilgili sorunlar (özveri eksikliği), klinik bazlı sorunlar (hekim ve hemşire iletişimi, tecrübeli elemanların değersizleşmesi, gereksiz kan takılması ve ilaç uygulamaları) şeklinde belirlenmiştir (Şekil 7).



Şekil 7. Diğer Etik Sorunlar ve Alt Boyutları

“Çalışanlara kendi alanınızda çalışırken yaşadığımız başka ne tür etik sorunlar var? Sizi başka neler etkiliyor?” sorusuna verilen cevapların bazılarını aşağıda yer verilmiştir.

“Görev tanımımızdaki belirsizlikler, her işi yapıyoruz, işleri yetiştirme adına hastayla iletişim gerektiği gibi kuramıyoruz. Hatta bazen onam formu almayı unutup sonradan alıyoruz bu bir risk hem hasta hem de bizim için” (K2, K4).

“Aslında yaptığımız işin vicdani boyutu diyebilirim (K5). Hasta geliyor bize güzel bir söz bir haber bekliyor, iyileşiyorsun Ali amca dememi istiyor bazen mutlu olsun diye diyorumda halbuki ileri evrede tamamen iyileşme şansı yok hastanın ve biliyor musunuz bazen iyiye gidiyor inşallah iyileşeceksin diyorum...ne kadar doğru tartışılır yani” (K10).

“Etik sorunlar kesinlikle sadece motivasyonumu değil performansımızı da etkilemektedir. Yönetimsel etik sorunlar, hasta ile olan etik sorunlar, kendi kliniğimiz içinde oluşan etik sorunlar mesleği tam olarak icra etmemizi engeller (K10, K18).

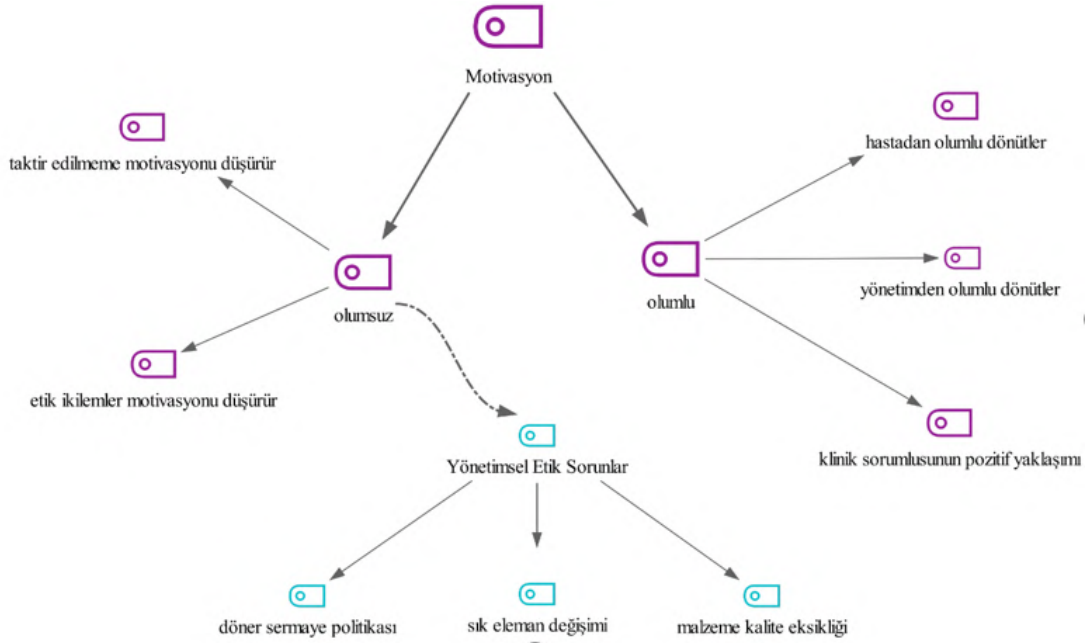
“Bizden kaynaklı olmayan bir takım yönetimsel sorunlardan dolayı etik kurallar ihlal edilebiliyor. Mesela malzeme eksikliği gibi...örneğin temizlik personeli eksikliği gibi nedenler (K3, K6). Hasta yakınları bazen hafta sonları çarşaf bulamadıklarını veya

çöplerin zamanında alınmaması gibi nedenlerle şikayetçi olabiliyor. Böyle durumlarda bize yansıyan olumsuzluklar motivasyonumuzu kırıyor...ya da işte etik kurallara uymaya gayret ettiğimiz ve olumlu dönüşler aldığımızda idarenin yönetim bazında bize bir teşekkür etmesi bile bizim performansımızı artırmasına yetiyor diyebilirim” (K23, K7).

“Çalışma şartlarda en köklü sorunu hastalara hasta gözüyle değil müşteri gözüyle bakılmasıdır. Disiplin kuralları uygulanmayıp işi bilmeyen insanların yanlış yerlerde olmasıdır” (K1, K18). İş bilenle bilmeyenin aynı kefeye konulması (K18).

#### 4.10. Motivasyon Teması ile ilgili kodlar

Sağlık çalışanları, yapılan görüşmelerde göre farklı etik sorunların motivasyonlarını ve performanslarını etkilediğini ifade etmektedirler. Motivasyon temasına bağlı iki alt kod belirlenmiştir. Motivasyonu olumlu yönde etkileyen durumlar (Hastadan alınan olumlu dönütler, yönetimden gelen olumlu dönütler ve klinik sorumlularının klinik işlerini yönetirken takındıkları pozitif yaklaşımlar) ve motivasyonu olumsuz yönde etkileyen etik durumlar (etik ikilemler, takdir görmeme, yönetimsel sorunlar) olarak tespit edilmiştir (Şekil 8).



Şekil 8. Motivasyon Teması ve Alt Kodları

“Bize yansıyan olumsuzluklar motivasyonumuzu kırıyor...ya da işte etik kurallara uymaya gayret ettiğimiz ve olumlu dönüşler aldığımızda idarenin yönetim bazında bize bir teşekkür etmesi bile bizim performansımızı ve motivasyonumuzun artmasına yetiyor diyebilirim (K7).

Böyle yoğun bir yerde çalışıyoruz ve hastalarımız ölüyor (K2), işimiz ölmek üzere olan hastaya bakma ve sonunda hepsi ölüyor bu durum bizim hatta hekimlerin bile motivasyonunu düşürüyor (K15). Sanki yaptığımız hiçbir şey işimize yaramıyor gibi geliyor. Diğer konu döner sermayeden aynı ücreti alıyoruz halbuki biz yoğun bakım gibi çalışıyoruz ve ek bir katkı sağlamıyor maddi katkısı da olmuyor. Bunun yanında sık sık eleman değişiyor (K27, K23).

Bu etik ikilemler veya problemler beni etkiliyor. Sanki dürüst değilmişim gibi geliyor motivasyonuma etkiliyor. Bir de hastayla duygusal bağ oluyor zamanla bu beni etkiliyor hatta performansında etkileniyor (K15).

“Hastaya kullanılan malzemelerin kaliteli olmaması sonucu hastaya yeterince hizmet edilememekte ve bu şartlarda çalışmak motivasyon bozukluğuna sebep olmakta” (K23).

#### 4.11. Maddi Çıkar Teması ile İlgili Kodlar

Maddi çıkar teması ile ilgili alt kodlara bakıldığında kurumsal çıkar elde etme ve bireysel çıkar elde etme olarak tespit edilmiştir. Kurumsal çıkar sağlama alt kodu ile vurgulanan bu özellik ise şu şekilde ifade edilmiştir. “Devlet hastaneleri kovit nedeni ile hasta kabul etmediği için özellikle özel hastanelerde

fırsat yaratılarak fiyatları artırma yoluna gidilerek hastalara hasta gözü ile değil müşteri gözü ile bakılmaktadır” şeklinde ifade edilmektedir. Diğer kurumlara yönlendirme alt kodunda ise o kurumla bir şekilde ilişkisinin bulunan kişilerin dolaylı olarak kişisel çıkar elde edildiğinden bahsedilmiştir. Ancak bu durumun geçmiş yıllarda da fazla görüldüğü de vurgulanmıştır (Şekil 9). Size göre sağlık çalışanlarında kurumsal ya da kişisel olarak etik olmayan tutum ve davranışlar nelerdir? sorusuna verilen yanıtlara aşağıda yer verilmiştir.

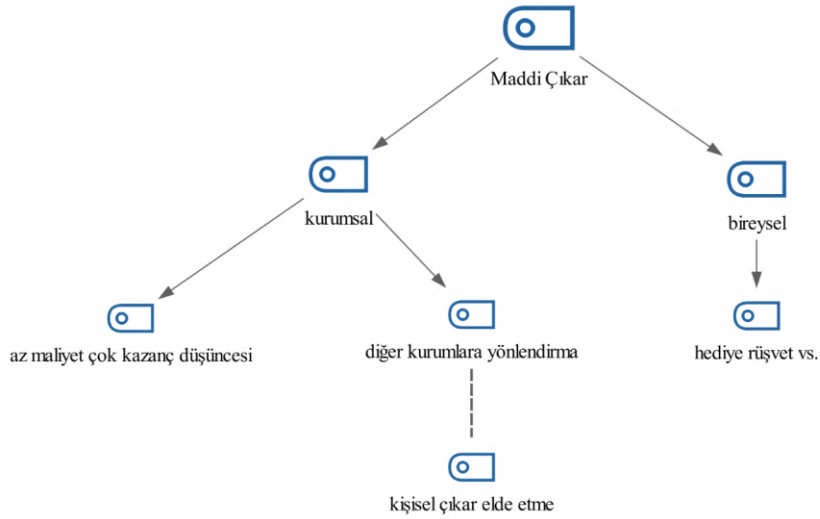
“Bana göre çıkar elde etme etik değildir. Sahada bunları görüyor muyuz? evet şu an olmasa bile çok gördük. 10 yılın üzerindeki çalışma hayatımda birçok olaya tanık olduk (K23).

“Örneğin doktorumuz hastadan tetkik istiyor...MR istiyor...hastaneye yakın birkaç özel merkez var doktorun hastayı bu merkezlerden birine özellikle yönlendirmesi...kendi aralarında anlaşır menfaat elde etmeleridiyebiliriz” (K13).

Yıllar öncesine baktığımda bu tarz durumlar daha fazla olmaktadır ya da ben öyle düşünüyorum. Hediye almalar ya da bir şekilde istemeler, bir şey karşılığında dışardan birilerinin işlerini yapmalar gibi durumlar yani..rüşvet de diyebiliriz (K13).

“Özel hastanelerde para odaklı değil hasta odaklı olmalı hizmet verilmeli” (K1).

“Düşük maaş uğruna bilinçsiz eleman çalıştırma. Ya da az maliyetle çok kazanç uğraşları, hastayı müşteri görmek” (K13, K25).



Şekil 9. Maddi Çıkar Sağlama ve Alt Kodlar

## 5. Tartışma ve Sonuç

Çalışma içerisinde yer alan etik ile ilgili değerlendirmelerde, özellikle sağlık temelinde ele alındığında, kavramın hayati değerler açısından ele alınmaya çalışıldığı görülmektedir. Buna göre sağlık sektörü, kuralları bazında etik hareket etme zorunluluğuna sahip olmakla birlikte sürecin içerisinde en belirleyici unsur, etik kavramına çalışanların bakış açısı olmaktadır.

Araştırma içerisinde, literatürdeki farklı çalışmaların sonuçları değerlendirildiğinde, özellikle sektör çalışanlarının etik algısının yeterince yüksek olduğu görülmektedir. Bu araştırmalarda dikkati çeken iki unsur söz konusudur. Bunlardan ilki, sağlık sektörü çalışanlarının, sektör içerisinde etik olarak görmedikleri bir davranışı, doğrudan doğruya üstlerine ya da yetkili mercilere bildiriyor olmalarıdır. Buna istinaden sektör çalışanlarının etik algısının yüksek olduğunu düşünmek mümkündür. Çünkü kuralları bilen ve bunları uygulama arzusunda olan sağlık sektörü çalışanları için fark ettikleri etik konulara dair eksiklikleri hızlı bir şekilde üstlerine iletmeleri, konuya dair, insan sağlığıyla ilintili hassasiyetlerinin son derece yüksek olduğunu göstermektedir.

Öte yandan, literatürdeki farklı çalışmaların sonuçları değerlendirildiğinde, dikkati çeken ikinci bir unsur ise sektör çalışanlarının, çevrelerinde, sektörlerine dair görmüş oldukları etik dışı olaylara ve bunların devamlılığına karşı iş performanslarının durumudur. Buna göre sektör çalışanları, kendi çevrelerinde herhangi bir etik dışı davranışla karşılaşmış oldukları süre zarfında, bunun çözüme kavuşmadığını ya da kavuşma ihtimalinin olmadığını, kötü şartların halen devam ettiğini gördükleri an itibarı ile bu etik dışı durumdan etkilenerek düşük bir performans sergilemektedirler. Bu durum, sağlık sektörü çalışanların etik konulara ne denli önem verdiklerinin ve etik dışı bir çalışma ortamında ne denli verimsiz olarak çalıştıklarının da bir göstergesidir. Hastane Ortamında Hemşirelerin Etik Yaklaşımı ve Etik İkilemler başlıklı benzer çalışmadaki vaka araştırması yapılmış ve bazı yönleri ile benzer sonuçlar çıkmıştır. Benzer sonuçlar malzemelerin bulundurulması ile ilgili etik sorunlar,

hastaların yararına verilecek kararlarda etik sorunlar sonucu çıkmıştır. Bizim araştırmamızda ise bununla ilgili hastaya karşı net cevaplar verememenin çalışanları dürüst davranmama hissi ile motivasyonlarının düştüğü şeklinde ifade edilmiş ve motivasyon temasında vurgulanmıştır. Aynı durum çalışanların yaşadığı etik ikilemler temasında da yer almıştır. N. Utunun çalışmasında cerrahi hemşirelerinin yaşadığı etik sorunlarda hemşirelerin kürtajı doğru bulmadığı halde işlemde görev almaya ilişkin etik uygulama sorunları yaşadıkları belirlenmiştir. Araştırmamızda palyatif bakım hemşirelerinin ölmek üzere olan hastalara serum, kan v.b uygulamaların yapılmasını doğru bulmadıklarını belirtmişlerdir. Ancak görevleri gereği söylenen ya da planlanan tedavi şemasını uygulamak zorunda olduklarını belirtmişlerdir. Bu ifadeler yönetim temelli etik sorunlar temasında ve motivasyon temasında irdelenmiştir. .

Carlise Rigon Dalla Noraa ve arkadaşlarının 2013 yılında yaptığı BDTD, CINAHL, LILACS, MEDLINE, Biblioteca Cochrane, PubMed, RCAAP ve SciELO veri tabanlarından portekizce, ingilizce, ve ispanyolca tezler ve makaleler dahil edilerek yapılan literatür çalışmasında etik konusu ile ilgili en fazla çalışma yapılan alanın sağlık etiği ve hemşirelerin karşılaştıkları etik sorunlar üzerine yapıldığı belirlenmiştir. Bu yönüyle sağlık alanında ortaya çıkan sorunlar, hastane yönetimi anlamında da önem taşımaktadır. Diğer çalışmalarda genel olarak klinik çalışmalar konusunda araştırma yapılmıştır. Çalışmamızda bu sorunların büyük bölümünün yönetim temeli üzerine dayandığı vurgulanmıştır. Bu nedenle çalışmada sağlık profesyonellerinin yaşadıkları yönetsel etik sorunların motivasyonlarını olumsuz şekilde etkilediği gibi yönetim tarafından değer görmemenin ise performans ve motivasyonlarını arttırdığı belirlenmiştir. Çalışanlar; Yönetsel etik kaygılar denildiğinde kurumsal yönetim ve klinik yönetimi olmak üzere 2 tür yönetim vurgusu yapmıştır.

Çalışmamızın sınırlılıklarını farklı kliniklerde çalışan hemşire ve sağlık teknikerleri oluşturmaktadır. Hekimler ve aynı klinikte çalışan kişiler araştırma kapsamı dışındadır. Söz konusu sağlık çalışanları basit rastgele örneklem seçimi ile tercih edilmiştir. Basit rastgele örneklem seçimi, evren içerisinden seçilebilecek olan her bireyin seçilme şansının eşit olduğu ve

böylelikle evreni yansıtabilme ihtimalinin arttığı bir yöntemdir (Aziz, 2011; Büyüköztürk vd.,2016). Şubat - Nisan 2021 tarihleri arasında İstanbul İli içerisinde kamu ve özel hastanelerde görev yapan sağlık çalışanlarını kapsamaktadır. Araştırmanın örneklemini farklı kliniklerde (onkoloji, kemoterapi, cerrahi, palyatif bakım) çalışan hemşireler ve teknikerler (radyoterapi, nükleer tıp, anestezi) oluşturmaktadır

Elde edilen verilerden yapılan analiz sonucunda 7 ana tema ve alt kodları tespit edilmiştir. Mesleki Etik temasının çerçevesinde; sağlık etiği, etik ikilemler, motivasyon, yönetsel etik, diğer etik sorunlar, maddi çıkar elde etme, yazılı kurallar temaları belirlenmiştir. Mesleki etik temasında dikkat çeken motivasyon temasının yönetsel etik, etik ikilemler ve diğer etik sorunlar kodları ile ilişkili olduğu yönündedir. Bu 3 alt kod çalışanların motivasyonlarını ve performanslarını olumlu yönde ve olumsuz yönde etkilemektedir. Etik ikilemler çalışanlar üzerinde hastaya karşı dürüst değiliz hissi yaratarak çalışanların motivasyonlarını düşürürken kullanılan malzemelerin kalitesizliği ve malzeme eksikliği, çalışanlara karşı duyarsız davranma gibi yönetim bazlı etik sorunlar da motivasyonu olumsuz etkilemektedir. Diğer etik sorun alt temasının klinik bazlı sorunlar bölümünde yer alan tecrübeli elemanların değer görmemesi de motivasyonu düşürdüğü yönündedir. Yazılı kurallar temasında dikkat çekici nokta genel anlamda uyulması yönünde olumlu sonuçlar verdiği ve çalışanları güvende hissettirdiği yönünde olduğu tespit edilmiştir. En önemlisi ise çalışanların çalışma sırasında doğru alışkanlıklar geliştirmeleri yönünde etkili olduğunu ifade etmeleridir. Yönetimsel etik teması ise etik sorunların çalışanlar tarafından en çok vurgulandığı tema olmasındır. Yönetimsel etik sorunlar iş yoğunluğu, personel eksikliği, malzeme eksikliği, malzeme kalite eksikliği, takdir görmeme, fiziki alan eksikliği, döner sermaye eşitsizliği, sık eleman değişimi gibi alt kodlar tespit edilmiştir.

Tüm meslek grubunda olduğu gibi sağlık hizmetleri alanında da etik kurallar ve bu kurallara uygun davranış geliştirme, hem hasta açısından hem de deontoloji anlamında önemlidir ve bu hizmetleri etkilemektedir. Yönetim hizmetlerinin çalışanlara yönelik motivasyonlarını yükseltmek adına klinik bazında, malzeme ve malzemelerin kalitesi bazında, maddi teşvik bazında ve küçükte olsa takdir edildiklerini gösteren davranışlar bazında daha etkili olmaları çalışanları motive etme ve performanslarını yükseltme anlamında önemli olacağı düşünülmektedir. Bu bağlamda çalışanların takdir edildiklerini gösteren, teşekkür yazıları ya da sözel geri bildirimler yapılarak motivasyonlarını arttırılması önerilmektedir. Hastane yönetim ekibinin malzemelerin kalitesi ve eksik malzemelerin, zamanında tedarik edilmesi noktasında daha duyarlı olması önerilmektedir çünkü bu durum hasta ve yakınları ile sürekli iletişim halinde olan çalışanların streslerinin azaltılması bakımından önemlidir. Klinik yönetimin, çalışanlarına mesai saatleri konusunda eşit davranması, mümkün olduğunca etik ikilem konusunda da çalışanlarla ortak çözüm noktaları üzerinde fikir alışverişinde bulunması önerilmektedir.

## 5. Teşekkür

Çalışmada destek olan kamu, vakıf ve özel hastanede çalışan hemşire ve teknikerlere teşekkür ederim.

## Kaynakça

- Avcı, M., & Teyyare, E. (2012). Sağlık sektöründe yolsuzluk: Teorik bir değerlendirme. *Ekonomik ve Sosyal Araştırmalar Dergisi*, Cilt:8, Yıl:8, 2, 8:199-221
- Aziz, A. (2011). Sosyal Bilimlerde Araştırma Yöntemleri ve Teknikleri. Nobel Yayınları, Ankara
- Büyüköztürk, Ş., Kılıç, E., Akgün, Ö., Karadeniz, Ş. & Demirel, F. (2016). Bilimsel Araştırma Yöntemleri. Pegem Akademi, Ankara.
- Creswell, John W. Nitel Araştırma ve Araştırma Tasarımı: Beş Yaklaşımdan Seçim. SAGE, 2013. 448 sayfa
- Doğan, S., & Karataş, A. (2011). Örgütsel etiğin çalışan memnuniyetine etkisi üzerine bir araştırma. *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, (37), 1-40.
- Durmaz, T., & Erdem, R. (2017). Hastanelerde Arz Kaynaklı Gereksiz Sağlık Hizmeti Kullanımının Hasta Algısı Üzerinden Değerlendirilmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi* Yıl: 2017/4,29:579-604.
- Dündar, T. (2010). Sağlık çalışanlarının yıldırımaya maruz kalmalarında hastane etik iklimi ile sosyodemografik özelliklerinin rolü: Bolu ili hastanelerinde bir araştırma. *Hacettepe Üniversitesi Sağlık bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi*, Ankara.
- Eğri, T. (2008). Marksist Ahlak ve Toplum Teorisi. *İş Ahlakı Dergisi*, 1(1), 163-167.
- Gül, H. (2006). Etik Dışı Davranışlar Ve Ussallaştırılması: Devlet Hastanelerinde Bir Uygulama. *Selçuk Üniversitesi Karaman İ.İ.B.F. Dergisi*, 10(9), 65-79.
- Gülay Yıldırım, Selim Kadioğlu. (2007). Etik ve Tıp Etiği Temel Kavramları *Cumhuriyet Üniversitesi, Tıp Fakültesi Dergisi*, 29 (2): 7-12.
- Günaydın, H. (2012). Sağlık Sektörüne Bakış. Ankara: Nobel Kitabevi.
- Gürkan, C. (2013). Adam Smith'in Police Kavramı. *FLSF (Felsefe ve Sosyal Bilimler Dergisi)*, (16), 149-174.
- Kuçuradi, İ. (1997) "Etiğe Yaklaşımlar, Etikte Yaklaşımlar ve Bir 'Evrensel Etik Düşüncesi' ", Uluslararası Felsefe Kuruluşları Federasyonu ile Türkiye Felsefe Kurumu'nun Göreme'de Düzenlediği Seminer.
- Kırılmaz, H. ve Kırılmaz, S. K. (2014). Sağlık Hizmetlerinde Etik İkilemlerde Ampirik Etik Çalışmalarının Yararları, *İnsan & İnsan*, (1), 35-44.
- Kördeve, M. K. (2017). Özel Sektör Sağlık Çalışanlarında Etik Tutum ile Whistleblowing Arasındaki İlişki. *Sağlık Yönetimi Dergisi*, 1(2), 51-61.
- Kutlay, O., & Yılmazlar, A. (2001). Anestezi ve yoğun bakımda etik, klinik etik. *Ed. Erdemir Demirhan, Nobel Tıp Kitabevi*, s, 532-541.
- Levent, A. (2013). İktisat ve Etik: Amartya Sen Mirası. *İş Ahlakı Dergisi*, 6(2), 109-133.
- Livvarçin, Ö., & Kurt, D. (2012). *Yönetim biliminde 49 insan 49 teori*. Beta Yayıncılık Boston.
- Lois Snyder (2005) American College of Physicians Ethics Manual, for the American College of Physicians Ethics, Professionalism, and Human Rights Committee.
- MEGEP (2011). Sağlık Meslekleri Etiği. Ankara: MEB Yayını.
- MEGEP (2015). Sağlık Hizmetleri Meslek Etiği ve İlkeleri. Ankara: MEB Yayını.

- Neuman, W. L. (2007) Sosyal Araştırma Yöntemlerinin Temelleri: Nitel ve Nicel Yaklaşımlar. 2. Baskı, Allyn ve Bacon,
- Öztürk, A. (2015). Kapitalizmde Sömürü ve Adalet Tartışmaları. *Amme İdaresi Dergisi*, 48(2), 23-36.
- Palacı, H., Günay, O., & Yazar, O. (2018). Türkiye'deki radyasyon güvenliği ve koruma eğitiminin değerlendirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (14), 249-254.
- Roberts, M. J. (2010). Sağlık Reformunun Doğru Yapılması Performans ve Hakkaniyetin Geliştirilmesi İçin Bir Kılavuz (Çev. Sağlık Bakanlığı). Ankara: Onur Matbaacılık.
- Şahinoğlu A. & Bebek G. (2018). "Araştırma Görevlilerinin Bilimsel Araştırma Etiğine İlişkin Algıları" Nitel Bir Çalışma *Adnan Menderes Üniversitesi Eğitim Fakültesi Eğitim Bilimleri Dergisi*. 9(1), 47-58
- Şahin, B. ve Dünder, T. (2011). Sağlık Sektöründe Etik İklim Ve Yıldırma (Mobbing) Davranışları Arasındaki İlişkinin İncelenmesi. *Ankara Üniversitesi SBF Dergisi*, 66(1), 129-159.
- Şen, H. T. (2013). Kamu Hastanelerinde Görev Yapan Başhekim ve Başhemşirelerin Duygusal Zekâ Düzeyleri ile Etik Muhakeme Yetenekleri ve Etkileyen Faktörler. *Hemşirelikte Eğitim Ve Araştırma Dergisi*, 10(3), 18-26.
- Tepecik ve Yazıcı (2012). Sağlık Sektöründeki Etik Problemlerinin Nedenleri. "International Conference On Eurasian Economies 2012" içinde, 382-388.
- Türk Kardiyoloji Derneği (2009). Alternatif ve Tamamlayıcı Tıp ile İlişkilerde Etik. *Türk Kardiyoloji Derneği Araştırma Dergisi*, (37), 33-35.
- Uğur, A. A. (2011). Hastaneler ve Sağlık Çalışanlarının Uygulamalarında Etik. Sağlık Hizmetlerinde Etik Anlayışı. *Hastane Dergisi*, (72), 48-56.
- Utlu N. (2016) Hastane Ortamında Hemsirelerin Etik Yaklaşımı ve Etik İnkilemler. *İstanbul Aydın Üniversitesi Dergisi*, 8(29):17-35
- World Medical Association. (2015). World Medical Association Declaration of Helsinki: ethical principles for medical research involving human subjects. Ferney-Voltaire, France: WMA, 2008.
- Yıldırım, T. (2012). Marksizm'in 100 Kavramı Şırnak Üniversitesi İlahiyat Fakültesi Dergisi, 1(8), 276-279.
- Köseoğlu Z. (2011). İonna Kuçuradi'nin Etik Görüşü açısından Kant'ta "İyi İsteme" Problemi Yüksek Lisans Tezi.



# PLC ve SCADA Kontrol Yöntemleri ile Sıvı Dolum Otomasyonu

Hilmi Cenk Bayrakçı<sup>1</sup>, Hakan Büyükpatpat<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-5064-7310), cenkbayrakci@isparta.edu.tr

<sup>2</sup> Bartın Üniversitesi, Mühendislik, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Bartın, Türkiye (ORCID: 0000-0003-3277-8653), hbuyukpatpat@bartin.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 8 Şubat 2021 ve Kabul Tarihi 9 Eylül 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.877004)

**ATIF/REFERENCE:** Bayrakçı, H.C. & Büyükpatpat, H. (2021). PLC ve SCADA Kontrol Yöntemleri ile Sıvı Dolum Otomasyonu. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (27), 283-291.

## Öz

Endüstriyel üretim için kullanılan sıvı dolum tesisleri insanların ihtiyaçlarını karşılama konusunda önemli bir yer tutmaktadır. Bu üretim tesisleri, endüstriyel otomasyon ve güncel teknolojinin sürekli gelişmesiyle birim zamanda üretim maliyetlerini düşürmektedir. Otomasyon sistemlerinin kontrolünde birçok yöntem olmakla beraber en sık kullanılanlardan biri "Programlanabilir Mantıksal Denetleyiciler (Programmable Logic Controller-PLC)" ile kontrol yöntemidir. PLC'ler işlem hızı, üretim maliyeti, programlama kolaylığı ve bilgi kaynaklarının fazlalığı gibi birçok avantaja sahiptir. PLC'lerle birlikte kullanılan "Merkezi Denetim ve Veri Toplama (Supervisory Control and Data Acquisition-SCADA)" sistemleri verilerin toplanması, izlenmesi, değerlendirilmesi ve operatör kolay kullanımını gibi önemli özelliklere sahiptir. Endüstride kullanılan sıvı dolum ünitelerinin benzer özelliklerine sahip prototip üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışma prototip sıvı dolum sistemi üzerinde PLC programlaması yapılarak gerçekleştirilmiştir. Dolum tesisi içerisine veri toplama, bilgi sağlama ve uygulama esnasında müdahale için SCADA sistemi dahil edilmiştir. SCADA sistemi bir "İnsan-Makine Arayüz (Human-Machine Interface-HMI)" paneli üzerinden kontrol edilebilmektedir. Prototip sistemde HMI ekranından seçilen ürün ve ağırlıklarına göre bardaklara dolum gerçekleştirilmiştir. Ürün bilgileri kullanıcı tarafından girilmektedir. Kullanıcının girmiş olduğu bilgilerin uygunluğu HMI panel içerisine yazılan makro koduna göre belirlenmektedir. İstenilen dolum sayısına göre bardak deposundan bardaklar çıkarak sıvı dolum istasyonlarına gelir. Sıvı dolumu ağırlık sensör bilgilerinin gerçek zamanlı kontrolü ile gerçekleştirilir. İstenilen miktarda dolum gerçekleştikten sonra bardakların kapakları takılır. Bardak kapaklarının üzerine dolum çeşidine göre etiketleme(sade-karışık) yapılarak çıkışa gönderilir. Üretilen ürünler çıkış istasyonundan alınır. Böylece talep edilen miktar ve oranda ürünler otomasyon sisteminde tam otomatik olarak üretilmiş olur.

**Anahtar Kelimeler:** Sıvı Dolum, PLC, SCADA.

## Liquid Filling Automation with PLC and SCADA Control Methods

### Abstract

Liquid filling facilities used for industrial production have an important place in supply the needs of people. These production facilities reduce production costs per unit time with the continuous development of industrial automation and current technology. Although there are many methods in the control of automation systems, one of the most frequently used is the control method with "Programmable Logic Controller (PLC)". PLC's have many advantages such as processing speed, production cost, ease of programming and very information resources. "Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA)" systems used with PLCs have important features such as data collection, monitoring, evaluation and operator ease of use. Studies on a prototype with similar properties of the liquid filling unit used in the industry have been made. This study has been performed by programming PLC on the prototype liquid filling system. A SCADA system is included in the filling facility for data collection, information obtainment and intervention during implementation. The SCADA system can be controlled via a "Human-Machine Interface (HMI)" panel. In the prototype system, the glasses are filled according to the product selected and their weight from the HMI screen. The contents of the product are entered by the user. The conformity of the contents entered by the user is determined according to the macro code written into the HMI panel. Depending on the desired filling number, the glasses leave the glass storage and arrive at the liquid filling stations. Liquid filling is performed by real-time control of weight sensor data. After the desired amount is filled, the cups of the glasses are attached. Labeling (pure-mixed) is made on the glass cups according to the filling type and sent to the exit. The products

\* Sorumlu Yazar: Bartın Üniversitesi, Mühendislik, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Bartın, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-3277-8653) hbuyukpatpat@bartin.edu.tr

produced are taken from the exit station. Thus, the products in the requested quantity and ratio are produced in the automation system fully automatically.

**Keywords:** Liquid Filling, PLC, SCADA.

## 1. Giriş

Dolum ve paketleme tesisleri endüstrinin birçok alanında kullanılmaktadır. Bu tesislerden başlıcaları gıda ve kimyasal ürün üretilen yerlerdir. Üretilen ürünlerin istenilen miktarlarda doldurulup paketlenmesi ve birim ürün başına harcanan maliyetin azaltılarak karlılığın yükseltilmesi hedeflenir. Bu hedefin gerçekleştirilmesinde en önemli parçalardan biri otomasyon sistemleridir. Doğru oranlarda doldurulmuş, kaliteli ve hassas ürünlerin üretilmesi için otomasyon sistemi gerekir. Üretim sistemlerinde kullanılan otomatik makineler mekatronik sistemleri ifade eden elektrik-elektronik, mekanik ve bilgisayar disiplinlerini içermektedir. Bu sebeple otomatik makine ve sistemlerinin hayata geçirilmesinde modüler ve mekatronik tasarım yöntemleri kullanılmaktadır (Hamzaoğlu, 2015).

Literatür incelendiğinde, yapılan bir tez çalışmasında PLC ve SCADA ile sıvı boya dozajlama sistemi gerçekleştirilip performansı incelenmiştir. Endüstriyel boyaların belirlenen oranda karıştırılmasını ve farklı aralıklarda renklendirilmesini sağlayan prototip tasarlanmıştır. Çalışmanın sonunda karışımların doğruluğunun %97,5 olduğu görülmüştür. Yüksek hassasiyet ve doğruluğun sağlanması otomasyon sistemi ile gerçekleştirilmiştir (Kafalı, 2019).

Çilek (2005), tez çalışmasında PLC ve SCADA sistemleri hakkında genel bilgiler vermiş ve ASKİ İvedik Su Arıtma Tesislerinde uygulama yapmıştır. Uygulama sıvı klor tankları ve 6 tane vanadan meydana gelmiştir. Otomatik tank değiştirme işlemi için tank basınçlarının hazır olup olmadığı, vanaların arıza durumlarının gözlemlenip kontrol edildiği ve sırasıyla devreye alındığı sistemler oluşturmuştur. Yapılan bu işlemler PLC ve SCADA ile kontrol edilmiştir (Çilek, 2005).

Değirmencioğlu (2008), tez çalışmasında yük hücresi (loadcell) sensörü kullanarak elmaların ağırlıklarına göre sınıflandırılması yapmıştır. Sınıflandırma ile elma meyveleri dört ayrı ağırlık grubuna bölünmüştür. Uygulamada sınıflandırma toleransı titreşim etkilerinden dolayı 20g olarak belirlenmiştir. Sınıflandırma teknolojisinin geliştirilerek uygulamada 5g toleransa kadar ineceği öngörülmüştür (Değirmencioğlu, 2008).

Bayındır vd.(2011), çalışmalarında endüstride kullanılan sıvı depolama tanklarının seviye, basınç ve sıcaklık verilerinin izlenmesi ve meydana gelebilecek sorunlara karşı PLC ile kontrol edilen bir izleme yöntemi (SCADA) önermişlerdir. Yapılan bu çalışma ile endüstriyel sistemin görsel olarak takip edilebilmesi ve olası bir arızanın uyarı mesajlarıyla daha kolay tespit edilebilmesi sağlanmıştır. Yapılan deneysel çalışma ile prototipi geliştirilen sistemin daha az maliyetli, hassas, kararlı ve otomasyon sistemi içermeyen kumanda sistemlerinde kullanılan röleler, kontaktörler, sayıcılar ve dönüştürme kartları kadar güvenilir olduğunu gösterilmiştir (Bayındır vd., 2011).

Becerikli (2013), tez çalışmasında katı ve sıvıların tartım hassasiyetinin artırılması ve dozajlanması için PLC ve SCADA sistemi kullanmıştır. Sistemde 3 adet ayrı bunker bulunmaktadır. İlk bunkerde açma-kapama ile pnömatik kontrollü ölçüm yapılmış, ikinci bunkerde manuel düzeltme katsayılarıyla pnömatik kontrollü ölçüm yapılmış ve üçüncü bunkerde oransal pnömatik valf ile PID kontrolörle ölçüm yapılarak üç farklı ölçüm sisteminin karşılaştırılması sağlanmıştır. Sistemdeki

dozajlama otomatik hale getirilerek endüstriyel sistemlere uygunluk sağlanmıştır (Becerikli, 2013).

Aykaç (2010), tez çalışmasında şeker fabrikalarında kullanılan paketleme ve tartım yapan makinelerin tartım doğruluğunu artırmak amacıyla çuvallardaki fazla şekeri boşaltan ve eksik şekeri ekleyen bir prototip geliştirmiştir. Şeker doldurma işleminde gerekli dolum miktarı istatistiksel analiz ile belirlenmiştir. Doldurma için küresel bir ventil, şekerin emilmesi için vakum kullanılmıştır. Pnömatik bir silindir aracılığıyla haznenin hareketi sağlanmış ve tartı sonuçları loadcell yardımıyla alınmıştır. Sistemin kontrolü PLC ile gerçekleştirilmiş, SCADA arayüzünden kontrol ve izleme için faydalanılmıştır (Aykaç, 2010).

Hamzaoğlu (2015) tez çalışmasında peynir üretim basamağı ve paketleme işleminin gereği olan tuzlama aşaması otomatikleştirme ve üretim zamanından tasarruf sağlanmasını, maliyetin azaltılması ve hijyen koşullarının iyileştirilmesini amaçlamıştır. PLC ile kontrol edilen makinede bilgiler fotoelektrik, endüktif ve seviye sensörleriyle alınmaktadır. Bu bilgiler PLC'de işlenerek gerekli pompa, valf ve motorlar çalıştırılmıştır (Hamzaoğlu, 2015).

Erol vd. (2015), çalışmalarında PLC ile PI denetleyici kullanılarak gerçek zamanlı sıvı seviye kontrolü yapmışlardır. PI parametreleri gerçek zamanlı olarak sistemin açık çevriminden hesaplanmıştır. Sıvı seviyesine bozucu etki vererek istenen sıvı seviyesini takip edip etmediği gözlemlenmiştir. Eldeki veriler incelendiğinde denetleyici istenen sıvı seviyesini takip ettiği ve yük etkilerine karşı hızlı cevap verdiği görülmüştür (Erol vd., 2015).

Özer (2016), çalışmasında endüstriyel sistemlerde PLC ve SCADA uygulaması yapmıştır. Bu uygulamada bir prototip sisteme PLC bağlanarak elde edilen veriler SCADA sisteminde takip edilmiştir. Endüstriyel sistemdeki ağırlık, seviye, debi, basınç ve sıcaklık değerleri uzaktan kumanda kontrol altında tutulmuştur. Herhangi bir olumsuzluk durumunda hızlıca müdahale edilebilme imkânı oluşturulmuştur (Özer, 2016).

Chakraborty vd. (2020), yaptıkları çalışmada, yarı otomatik bir tesis için bir tankın su seviyesi ve kontrol yönetimini incelemek için PLC yazılımı ve SCADA kullanılmıştır. Sensörlerden gelen bilgi ile su seviyesinin düşük olması durumunda pompa otomatik olarak başlatılmıştır. Düşük ve yüksek su deposu seviyelerinin ölçülmesi, pompanın çalıştırılması, tank suyu seviyesinin doldurulması ve pompanın istenen su seviyesinde durdurulmasını içeren sistem yazılımı PLC merdiven programlaması ile gerçekleştirilmiştir. SCADA sistemiyle tüm süreç gerçek zamanlı olarak gözlemlenip kontrol edilmiş ve monitör ekranı ile görselleştirilmiştir. Yapılan çalışmada otomasyon teknolojisinin son derece güvenilir, verimli ve tesisin işletme maliyetini azaltmaya yardımcı olduğu görülmüştür (Chakraborty vd., 2020).

Başka bir çalışmada PLC ile yönetilen bir tartılı lizimetre sistemi geliştirilmiştir. Kahramanmaraş koşullarında Maraş 18 tipi ceviz bitkisi üzerinde uygulanmıştır. Sistemdeki lizimetre tankı 5 ton kapasiteli ve 4 adet ağırlık algılayıcısına bağlanmıştır. CODESYS programlama ile lizimetre, yağış ve drenaj miktarının belirlenmesi ve sulama programları adımları hazırlanmıştır. PLC ile sistem otomasyonu gerçekleştirilerek 2018 yılı Haziran-Ekim dönemi süresince toplam ve günlük

evapotranspirasyon miktarının sırasıyla 261 mm ve 1.25-3.5 mm olduğu belirlenmiştir (Gençoğlan vd., 2020).

Literatürde yapılan araştırmalarda görülmüştür ki, sıvı dolum tesislerinin tasarımı ve uygulamasıyla ilgili çalışmalarda en önemli parametre dolum hassasiyetidir. Bu çalışma ile birebir örtüşen çalışma olmamakla beraber prototip olarak tasarlanan sistemin gerçekleştiriminde kullanılan PLC ve SCADA sistemlerinin benzer kullanımları vardır. Bu çalışmada otomasyon sistemi içerisinde bulunan PLC ve SCADA kontrolü ile hassas, verimli, doğruluğu yüksek ve hızlı ürün üretimi gerçekleştirilecektir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. PLC ve SCADA

Endüstrinin hemen her yerinde sistem ve cihazların kontrolü için otomasyon sistemleri kullanılır. Endüstride kullanılan otomasyon sistemlerinin büyük çoğunluğu PLC'lerden oluşur. PLC'lerle beraber kullanılan SCADA sistemleri yapılan kontrolün görselleştirilmesi, kullanımının kolaylaştırılması, verilerin toplanması ve izlenmesi gibi özelliklere sahiptir.

#### 2.1.1. PLC

PLC giriş ve çıkış verilerinin durumunu sürekli kontrol eden, içerisindeki programa göre kararlar veren ve işlemleri yürütmek için çevre üniteleri olan bir mikroşemcadır. PLC'lerin içinde verileri işlemek için bir mikroşemca, işlem esnasında kullanılan verileri saklamak için geçici hafıza ve PLC içerisindeki programları saklamak için de sabit bellek bulunmaktadır. PLC'lerin içerisinde birçok giriş ve çıkış birimleri vardır. Otomasyon sistemi içerisinde kullanılan PLC'nin görseli Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. PLC

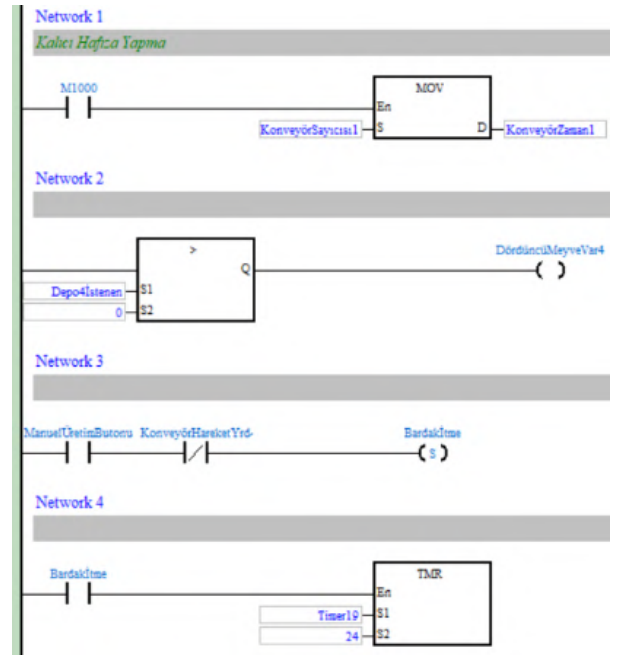
PLC'nin endüstride çok kullanılıyor olması birçok üretici ile beraber çok sayıda marka ve modeli beraberinde getirmiştir. Bu marka ve modeller arasında birçok farklılık olsa da temelde aynı görevi gerçekleştirmek üzere üretilmişlerdir. Üretimdeki bu farklılıklar işlem hızı, giriş/çıkış sayıları, boyutları, programlama yöntemleri, fiyatları, dahili modülleri gibi özellikleri içermektedir. Aynı marka PLC içerisinde de yıllar geçtikçe geliştirme yapılmakta ve bir önceki sürümüne göre yenilikler eklenmektedir.

Sıvı dolum otomasyon sistemi içerisinde kullanılan PLC Delta marka DVP12SE-11T serisidir. Kullanılan PLC'nin özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Kullanılan PLC'nin Özellikleri

Program Kapasitesi	16k Step
Maks. Giriş-Çıkış Sayısı	480 Adet
Hızlı Giriş Sayısı	2 Adet 100KHz 6 Adet 10KHz
Hızlı Çıkış Sayısı	2 Adet 100KHz 2 Adet 10KHz
Haberleşme	2 Adet RS485 Mini USB-Ethernet
Sol Modül Desteği	Mevcut
Çıkış Birimi	Transistör

PLC'nin programlamasında kullanılan çeşitli ve farklı yapılarda yazılım dilleri vardır. PLC programlamada kullanılan yazılım dilleri; Merdiven Diyagramı (Ladder Diagram-LD), Yapısal Metin (Structured Text-ST), Komut Listesi (Instruction List-IL), Sıralı Fonksiyon Tablosu (Sequential Function Chart-SFC) ve Fonksiyon Blok Diyagramı (Function Block Diagram-FBD)'dir (Eminoğlu, 2013). Bu programlama dilleri aynı amaca hizmet eden ama görselleştirilmesi ve yazılması farklı olan yapılardır. PLC ile otomasyon sistemi yapılırken en sık kullanılan programlama dilinden biri olan merdiven diyagramı anlaşılması ve programlaması kolay bir yapıya sahiptir. Bu yazılım dili sıvı dolum sisteminin PLC ile programlanmasında kullanılmıştır. Sıvı dolum sisteminin PLC programı içerisinde merdiven diyagramı akışını gösteren örnek bir yapı Şekil 2'deki gibidir.



Şekil 2. Merdiven Diyagramı

PLC programlamasında merdiven diyagramının kullanımı oldukça basit olmasına rağmen giriş-çıkış sayısının fazlalığı, yardımcı kontak kullanımı ve sayıcı-zamanlayıcı modüllerinin kullanımı çok fonksiyonlu bir programda karmaşıklığa sebep olabilmektedir. Bu karışıklığı önlemek için bütün yapısal nesnelere isim vermek gerekir. Bu isim ve adreslerin tutulduğu yer Sembol Tablosu'dur. Sembol tablosunun oluşturulması karışıklığı önlemekle beraber programlama yapılırken kolaylık sağlamaktadır. Sıvı dolum sisteminin PLC programı içerisindeki sembol tablosunu gösteren örnek bir yapı Tablo 2'deki gibidir.



Tablo 2. Sembol Tablosu

Identifiers	Address /	Type...	Initial Value
KonveyörSayıcısı1	C70	COUNTER	N/A
KonveyörSayıcısı2	C71	COUNTER	N/A
Depo1Ölçülen	D23	WORD	0
Karşık1Istienen	D5	WORD	0
Karşık2Istienen	D6	WORD	0
BirinciMeyveVar	M21	BOOL	FALSE
İkinciMeyveVar	M22	BOOL	FALSE
Meyve1	M41	BOOL	FALSE
Timer1	T1	TIMER	N/A
Timer2	T2	TIMER	N/A
BardakSensörü	X30	BOOL	FALSE
BaşlangıçSensörü	X31	BOOL	FALSE
StepMotor	Y0	BOOL	FALSE
StepMotorYön	Y1	BOOL	FALSE
DördüncüVakum	Y20	BOOL	FALSE
ÜçüncüVakum	Y21	BOOL	FALSE
ÜçüncüAğırlıgaltme	Y22	BOOL	FALSE
İkinciAğırlıgaltme	Y23	BOOL	FALSE

### 2.1.2. SCADA

SCADA genel sistem içerisindeki bilgilerin toplanması, izlenmesi, değerlendirilmesi ve kontrolü gibi önemli özellikleri içerisinde bulundurur. PLC ile programlanmış sistemlerin görselleştirilmesi kullanımını kolaylaştırmaktadır. SCADA sistemi 3 ana birimden oluşmaktadır (MEGEB, 2014). Bunlar:

- Kontrol Merkezi (MTU)
- İletişim Sistemi
- Uzak Uç Birimi (RTU)

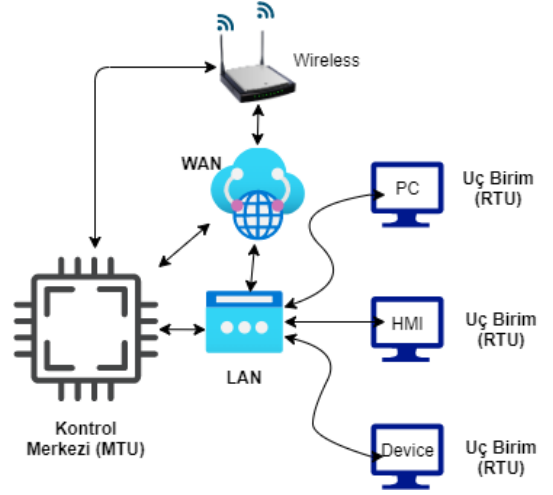
Merkezi kontrol veya merkezi terminal olarak isimlendirilen MTU, yerel ağ (LAN) ile veya geniş alan ağı (WAN) ile bir sunucu veya bir grup cihazın ana sunucuya bağlanmasıdır. Bu çalışmada merkezi kontrol birimi PLC ile yapılmıştır.

Uzak uç birimleri SCADA tarafından kontrol edilen ve izlenen cihaz veya makinelerle bağlı olan ekipmanlardan oluşur. Uzak uç birimleri, merkezi kontrol istasyonuna göndermek üzere sensörlerden gerçek zamanlı bilgileri alır. Ayrıca ana istasyondan gelen bilgileri alarak gerekli işlemleri yürütür. Çalışmada bu görevleri yerine getirmesi için HMI ekran cihazı kullanılmıştır.

SCADA sistemlerinde, kontrol merkezi ile bir veya birden fazla uç birimleri arasında iletişim kurmak için haberleşme protokolleri kullanılır. SCADA sistemlerinde sıklıkla kullanılan haberleşme protokolleri Modbus, Profinet, TCP/IP ve DNP3 'dür. Bu çalışmada MTU ile RTU arasında TCP/IP iletişim protokolü kullanılmıştır (Şeker, 2019).

SCADA sistemi içerisinde hem yazılımı hem de donanımı barındıran önemli kullanım araçlarıdır. SCADA endüstride prosesin olduğu tesisler (gıda, çimento, ilaç, boya), enerji, trafik, doğalgaz, nükleer vb. alanlarda sıklıkla kullanılırlar. SCADA sisteminin genel çalışma mimarisi Şekil 3'te verilmiştir.

Yapılan çalışma içerisinde kullanılan SCADA sisteminin uzak uç birimi HMI panelidir. HMI paneller endüstriyel tesislerde cihaz ve makinelerin takibi, kullanımı ve yönetilmesi görevlerinde operatör veya kullanıcılara kolaylık sağlar.



Şekil 3. SCADA Mimarisi

Çalışmada sıvı dolum işlemi için üretim miktarına göre üretim yönteminin belirlenmesi gerekmektedir. Sıvı dolumu yapılacak ürün miktarı 1'den fazla ise HMI paneldeki ilgili ekrandan otomatik buton seçimi yapılır. Bu işlemin yapılması için tasarlanan ilgili HMI ekranı Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. Üretim Yöntemi Seçim Ekranı

Fazla adette sıvı dolumu için kullanılan otomatik üretim ekranı içerisinde seçilebilecek 4 adet farklı ürün bulunmaktadır. Bu ürünlerden biri veya birkaçı seçilerek gramajları belirlenir. Ürün özelliklerinin belirlenmesiyle kaç adet üretileceği girilir. Maksimum üretim adedi maksimum bardak kapasitesi ile doğru orantılıdır ve varsayılan olarak 10 adet ile sınırlandırılmıştır. Tasarlanan ekran görüntüsü Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5. Otomatik Ürün Üretim Bilgi Giriş Ekranı

HMI ekranından ürün bilgilerinin girişinin yapıldığı sırada bazı kontroller için arka planda makro kodları yazılmıştır. Bu makro kodlarından biri maksimum bardak limitinin aşılmaması için kullanılmaktadır. Üretimde kullanılan örnek bir makro kodu Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 6. Ürün Üretim Limiti Makro Kodu

Ürün üretimi için çalışan birden fazla prosesin adetli üretimde uyumlu çalışması gerekmektedir. Sıvı dolum sistemi içerisinde çalışan otomatik üretim yöntemi endüstride kullanılan otomasyon sistemine benzer yapıda çalışmaktadır. Endüstriyel sıvı dolum tesislerinin çalışma yapısına ek olarak bu çalışmada kullanıcıya özel üretim metodu geliştirilmiştir. Kullanıcının istediği üründen istediği oranda karıştırma yapmasına imkân verilmiştir. Şekil 7’de gösterilen özel üretim ekranında proses içerisinde çalışan sıvı depolarının seviyelerini gösteren baremler konulmuştur. Her ürünün altına miktar girilmesi için giriş ünitesi yerleştirilmiştir. Seçimlerin yapılması ile üretim butonuna basılarak sıvı dolum sistemi kullanıcı tarafından çalıştırılabilmektedir.



Şekil 7. Özel Üretim Bilgi Giriş Ekranı

Üretimin gerçekleştiği esnada veya bitişinde sistem içerisinde kullanılan sıvı, bardak ve kapak gibi harcanan ürünler bitebilmektedir. Sistem içerisinde herhangi bir ürün bittiğinde üretim durur ve sistem alarm verir. Biten ürünlerin sıvı dolum sistemi yöneticisi veya operatörü tarafından tamamlanması için bir ekran programlanmıştır. Ürünlerin tamamlanması ardından yönetici veya operatör Şekil 8’deki ekrandan alarm kaldırma işlemini yapar.

SCADA ekranlarında genel kontrolün sağlanması için acil durum butonu, malzeme bitiş butonu, önceki ve ana sayfaya dönme çubukları konmuştur. Ekranda ürünlerin anlaşılmasını ve kullanıcının bilgilendirilmesini sağlayan yazılar ve kayan resimler bulunmaktadır.



Şekil 8. Ürün Ekleme Kontrol Ekranı

## 2.2. Sistem Bileşenleri

Çalışma içerisinde kullanılan giriş (sensör, sayısal veri) ve çıkış (motor, valf, alarm) elemanları proseslere göre farklılıklar göstermektedir. Sistem içerisinde ana dört adet proses kullanılmaktadır. Ana proseslerin içerisinde ana proses işleminin tamamlanması için birçok yardımcı proses bulunmaktadır. Tüm prosesler önceki bölümde anlatılan PLC ve SCADA yazılımı tarafından kontrol edilmektedir.

### 2.2.1. Sıvı Dolum Prosesi

Kullanıcıların girmiş olduğu ürün bilgilerine göre seçili ürünlerin bardaklara doldurulma işlemidir. Doldurma işlemi bir sıvı deposundan pnömatik vananın kontrolü ile yapılmaktadır. Sıvı dolum prosesinin gerçekleştirilmesi için sıvı deposunda ürün olması gerekmektedir. Sıvı deposundaki ürün kontrolü için yardımcı proses olan sıvı seviye kontrol prosesi çalışmaktadır. Bu proseste tankların seviyelerinin ölçümü için basınç transmitterleri kullanılmaktadır. Basınç transmitteri 0-250 mBar basınç ölçüm aralığına sahiptir. Basınç sensörü uygulanan basınca göre 4-20 mA veya 0-10 V arasında analog çıkış üretmektedir. Sensörün görseli Şekil 9a’da verilmiştir.

Basınç transmitterin çıkış sinyalinin analog olması PLC girişine analog sinyal uygulanması demektir. PLC üzerinde dahili olarak gelen giriş çıkış pinleri dijitaldir. Analog olarak gelen giriş sinyalini dijitale çevirmek veya dijital olarak üretilen sinyali analog sinyal çıkışına çevirmek için analog-dijital dönüştürücü kullanılır. Sıvı seviye ölçümü için analog sinyali dijitale çeviren 4 kanallı DVP04AD-S PLC ek modülü kullanılmıştır. Ek modülün görseli Şekil 9b’de verilmiştir.

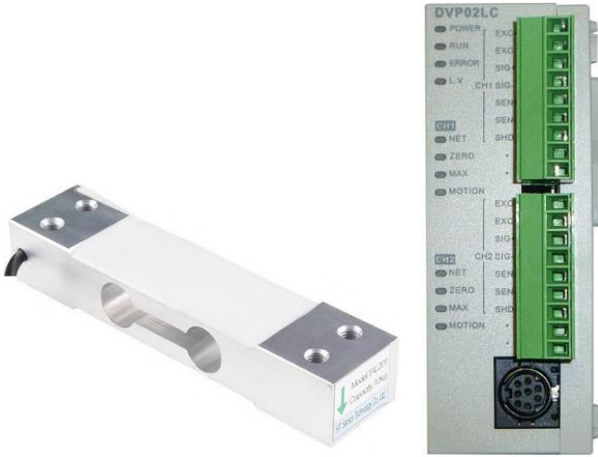


Şekil 9a. Basınç Trasmmitteri b. DVP04AD-S Analog Modül

Sıvı seviye ölçümünün istenilen düzeyde olması ve dolum sinyalinin gelmesi ile pnömatik vanalar açılır. Pnömatik

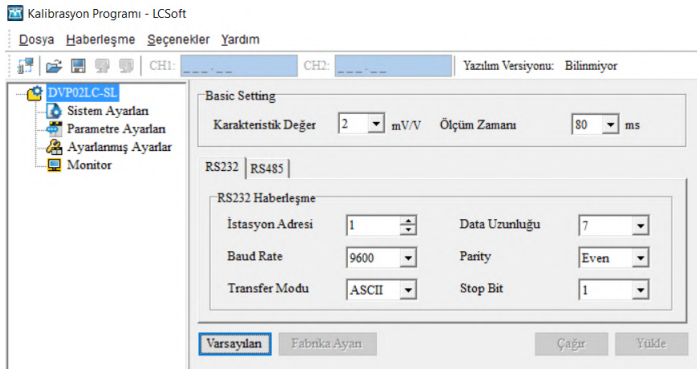
vanaların kontrolü için elektropnömatik valfler kullanılmıştır. Valflerin elektrik kontrolü kısmına gelen 24 v veya 0 v sinyallerine göre pnömatik hat kaynağı yer değiştirir. Bu sayede valfe verilen sinyal ile vanalar açık kapalı konuma hızlı bir şekilde getirilir.

Dolum işlemi başladığında bardak ağırlığı artacaktır. Bardak istenen ağırlığa geldiğinde vananın kapatılması için ağırlık ölçüm prosesi çalıştırılır. Gerçek zamanlı olarak gerçekleşen bu işlemler yük hücresi (loadcell) adı verilen sensör ölçümü ile ağırlık elde edilir. Yük hücreleri kuvveti elektrik sinyallerine çeviren sensörlerdir. Yük hücrelerinin metallerdeki esneme miktarı gerinim ölçerler(strain-gauge) yardımıyla algılanarak elektriksel direnç değerine dönüştürülür. Yük hücresi sensörü üzerine uygulanan basınca göre analog çıkış üretir (Yaşar, 2020). Yük hücresinin hassasiyeti %1 olarak verilmiş ve görseli Şekil 10a'da verilmiştir. Ölçüm sonuçlarının dijital dönüşümünün sağlanması ve verilerin alınması için DVP02LC serisi loadcell ek modülü kullanılır. Loadcell modülü iki adet yük hücre sensör verisini okuyup işleyebilecek 2 adet kanala sahiptir (Şekil 10b).



Şekil 10a. Yük Hücresi b. DVP02LC Loadcell Modülü

Gerçek zamanlı ağırlık ölçümünde hassasiyetin artırılması için loadcell modülünün ve yük hücresi sensörünün kalibrasyon ayarlarının yapılması gerekmektedir. Kalibrasyon ayarları ağırlığı bilinen bir nesne ile gerçekleştirilir. Kalibrasyon işleminin yapıldığı LCSofT arayüzünden örnek program Şekil 11 'de verilmiştir.



Şekil 11. Kalibrasyon İşlemi

Sıvı dolum ana prosesi içerisindeki yardımcı prosesler işlemlerini tamamladıktan sonra ana prosese bilgi gönderir. Bütün yardımcı proses bilgileri geldiğinde ana proses işlemleri yürütülür ve tamamlanır. Ana veya yardımcı proseslerin gerçekleştirildiği sırada herhangi bir problem oluşması halinde otomasyon sistemi uyarı verir. Verilen uyarıya göre gerekli

düzenlemeler yapılır ve işlemlere kaldığı yerden devam etmesi sağlanır. Başarılı olarak tamamlanan sıvı dolum prosesinin ardından kapak takma prosesine geçilir.

### 2.2.2. Kapak Takma Prosesi

Sıvı dolumu yapılmış olan bardakların kapaklarının takılması için yürütülen ana prostestir. Kapak deposundan kapak vakum yöntemi ile alınır ve bardağın olduğu konuma taşınır. Kapağın taşınması işlemi pnömatik milsiz silindir ile gerçekleştirilir. Milsiz silindirin hareket uzunluğu 500mm ve kapak takma yüksekliği 50mm 'dir. Kapak takma prosesinin adımları aşağıdaki gibi gerçekleştirilir:

1. Adım: Kapak takma istasyonuna bardak gelir.
2. Adım: Kapak deposundan kapak taşıma yerine itilir.
3. Adım: Taşıma yerinden kapak vakum yöntemi ile alınır ve bardak konumuna götürülür.
4. Adım: 50 milimetrelik dikey eksen hareketiyle kapak takılır.
5. Adım: Milsiz silindir ve vakum başlangıç konumuna döner.

Kapak takma işlemi esnasında işlem adımlarının biri veya birkaçında hata olması halinde prosesin tüm işlemleri baştan başlar. Bütün işlem adımları doğru bir şekilde tamamlandığında ana proses başarı ile tamamlanır. Kapak takma prosesinin tamamlanmasının ardından etiketleme prosesine geçilir.

### 2.2.3. Bardak Etiketleme Prosesi

Bardak üzerinde gerçekleşen son ana prostestir. Sıvı dolumunun tamamlanmasıyla kapak takma işlemi gerçekleştirilir. Etiketleme yapılırken kullanıcının seçmiş olduğu ürünlerin miktarına göre karışık veya sade etiketi makine logosuyla beraber kapak üzerine basılmaktadır. Birden fazla ürün seçilip istenilen oranlarda karıştırılmasıyla karışık bir ürün içeriği elde edilir. Bu seçim sonucuna istinaden karışık etiketi basılır. Tek ürün seçimi yapılması durumunda seçim miktarından bağımsız olarak sade etiketi basılmaktadır. Sade ve karışık etiketlerin logolarıyla birlikte görüntüleri Şekil 12'de verilmiştir. İşlemleri tamamlanmış olan ürünler çıkışa aktarılır. Ürünler kullanıcı veya operatör tarafından çıkış istasyonundan alınır.

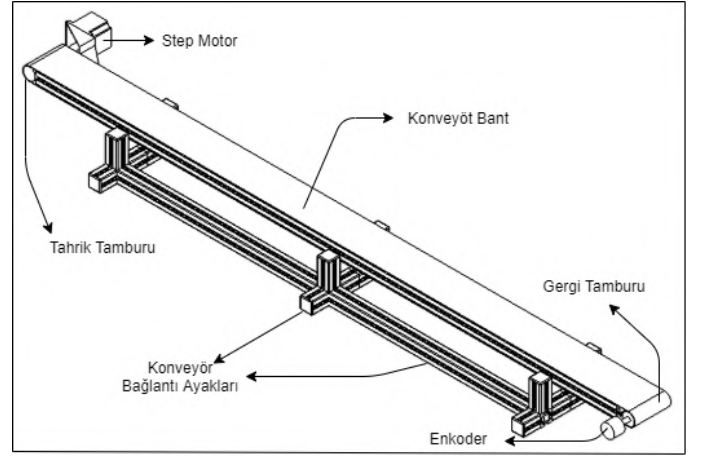


Şekil 12. Sade-Karışık Etiket

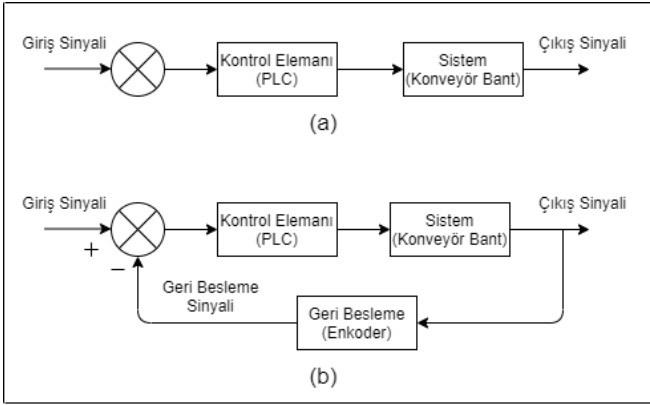
### 2.2.4. Konveyör Bant Kontrolü

Bütün ana proseslerin içerisinde bardağın bir konumdan diğer bir konuma taşınması işlemi konveyör bant ile sağlanmaktadır. Konveyör bant bir step motor (86HS45) ile hareket ettirilmekte ve kontrolü için sürücü (M542) kullanılmaktadır. Konveyör bandın hareket etmesi için step motorun konveyör tamburuna tahrik vermesi gerekmektedir. Step motorun dönüşündeki atacağı tur sayısı PLC tarafından pals sinyalleri gönderilerek belirlenir. Step motor bir tur attığında konveyör bandın alacağı yol uzunluğuna göre pals sinyallerinin miktarı ayarlanır.

Step motorun iç yapısı incelendiğinde açık çevrim kontrollü çalıştığı görülmektedir. Açık çevrim kontrolde çıkış birimi verisi giriş birimine etki etmez (Şekil 13a). Giriş biriminde verilen puls sayısının çıkışta alınan puls sayısına eşit olup olmadığının kontrolünün yapılmaması bazı durumlarda sorun yaratmaktadır. Örneğin motorda sıkışma olması, konveyör bandın hareket etmemesi veya bant ile motor arasında güç aktarımını sağlayan konveyör tamburlarında problem olması gibi durumlardır. Step motora dön sinyali verildiğinde oluşabilecek hata durumlarından dolayı konveyör bant hareket etmese bile hareketin sağlandığı yanlış ortaya çıkacaktır. Bu gibi durumların önüne geçmek için kapalı çevrim kontrol yapılır. Kapalı çevrim kontrolde çıkış sinyali ile giriş sinyali karşılaştırılır (Şekil 13b). Karşılaştırma sonucundan çıkan değerler kontrol elemanına hata sinyali olarak giriş yapar. Kontrolör tarafından gerekli işlemler yürütülerek hata sinyalinin sıfır'a düşürülmesi hedeflenir.



Şekil 14. Konveyör Bant Bileşenleri



Şekil 13a. Açık Çevrim Kontrol b. Kapalı Çevrim Kontrol

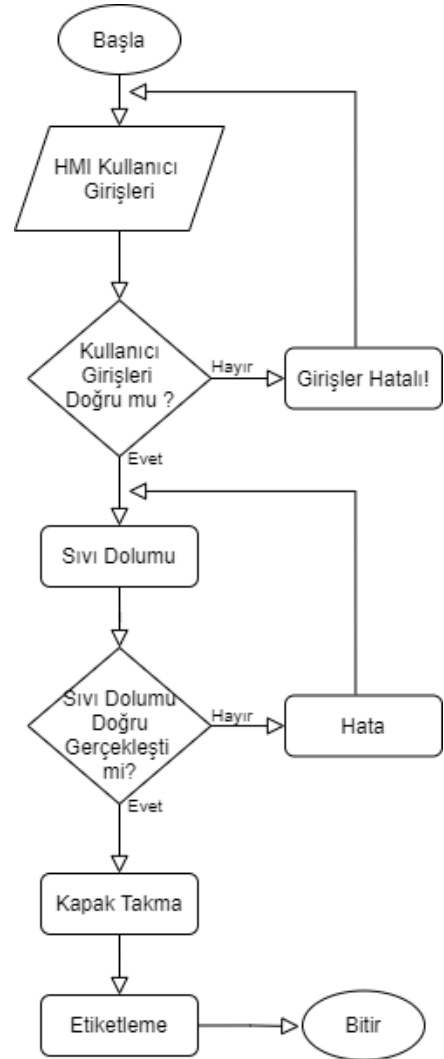
Kapalı çevrim kontrol yapan hareket sistemleri olmakla beraber step motorların da kapalı çevrim kontrolü ile çalıştırılmasının yöntemleri vardır. Bu yöntemlerden biri step motorun dönen mil eksenine üzerine enkoder bağlamaktır. Enkoder ucundaki milin dönüşü ile dijital veya analog sinyal üreten elektromekanik cihazdır.

Konveyör bant tahrik ve gergi tamburu etrafına geçirilmiştir. Tahrik tamburu motorun bağlı olduğu yeri, gergi tamburu ise bantın gerginliğini sağlayan yeri ifade eder. Konveyör bandın step motorla hareketinin kapalı çevrim ile kontrolü için enkoderin mili dairesel dönüş yapan gergi tamburuna bağlanır (Şekil 14). Motor dönüşü ile bant hareket eder ve gergi tamburu da döner. Döner gergi tamburundan enkoder sayesinde sinyal alınarak kontrol elemanına gönderilir. Gerçek zamanlı karşılaştırma ile kapalı çevrim kontrol sağlanır. Bardağın bir konumdan başka bir konumuna hareketi için sinyal gönderildiğinde step motor veya konveyör bant sebebiyle hareket sağlanmazsa enkoder bilgi sinyali ile hatalar tespit edilir.

### 3. Sıvı Dolum Sistemi

#### 3.1. Akış Diyagramı

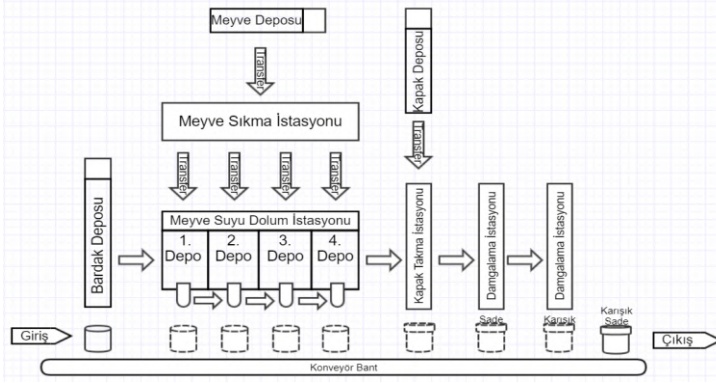
Akış şeması sistem algoritmasının görsel elemanlar kullanılarak oluşturulmasıdır. Bir işin tamamlanması için gerekli olan adımların çok daha iyi anlaşılmasını sağlayan görselliği içerir. Algoritma adımlarında belirlenen bir veya daha çok işlem geometrik şekillerle ifade edilir. Bu şekiller belirli standartlara sahiptir. Sıvı dolum sisteminin akış diyagramı Şekil 15'te verilmiştir.



Şekil 15. Akış Diyagramı

#### 3.2. Sistem Mimarisi

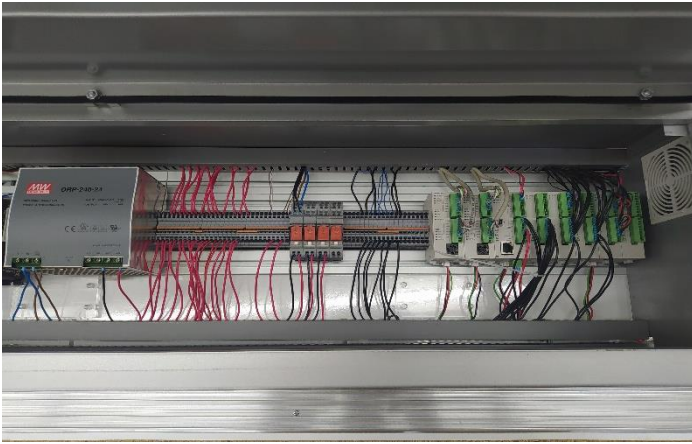
Sistem mimarisi genel tasarımı veya sistemin yapısını tanımlamak için kullanılır. Teknolojide fiziksel cihazlar geniş bir alanı kapsayacak şekilde genişletildiği gibi, bir yöntem organize etmek ve birlikte uyumlu bir şekilde bu öğeleri bağlamakta önemli olacaktır. Yapılan sıvı dolum tesisi için genel mimari yapı Şekil 16'da verilmiştir.



Şekil 16. Sistem Mimarisi

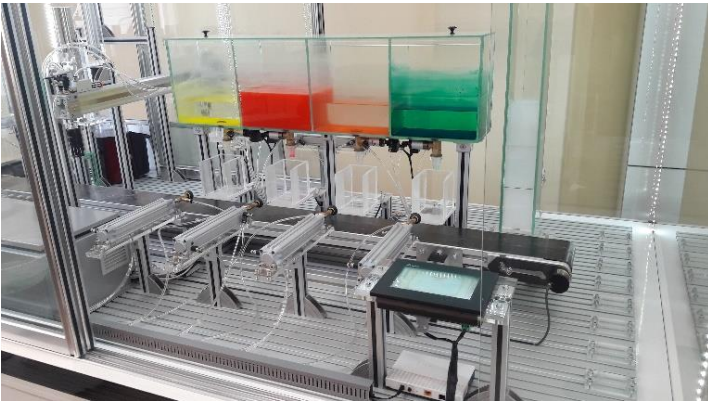
### 3.3. Sıvı Dolum Otomasyonu Prototipi

Prototip üzerindeki elektriksel cihaz ve bağlantıların bir kısmı panonun içerisine yerleştirilmiştir. Pano içerisinde kullanılan endüstriyel ekipmanlar PLC, ek modüller, güç kaynağı, sigorta, kaçak akım rölesi, klemensler, step motor sürücüsü ve kablolardır. Sıvı dolumu esnasında prototip sistemden bilgi alınması ve kullanıcı girişlerinin programa dahil edilmesi için pano dışına elektriksel cihazlar yerleştirilmiştir. Bu cihazlar, sensörler, step motor, HMI ekran ve kablolardır. Sıvı dolum sisteminin elektrik panosu Şekil 17'de verilmiştir.



Şekil 17. Elektriksel Bağlantı Panosu

PLC ve SCADA ile sıvı dolum uygulamasının yapıldığı prototip Şekil 18'de verilmiştir.



Şekil 18. Sistem Prototipi

## 4. Sonuçlar

Bu çalışmada endüstride kullanılan sıvı dolum tesislerine benzer özellikte olan bir sıvı dolum prototipi üzerinde PLC ve SCADA uygulamaları yapılmıştır. Gerçekleştirilen çalışmada PLC'lerin işlem hızı, üretim maliyeti, programlama kolaylığı ve bilgi kaynaklarının fazlalığı ile SCADA sistemlerinin verilerin toplanması, izlenmesi, değerlendirilmesi ve operatör kolay kullanımı gibi avantajlarından yararlanılmıştır. SCADA sisteminin kontrolünde HMI operatör paneli kullanılmış ve kullanıcı girişlerinin bu panel üzerinden yapılması sağlanmıştır. Kullanıcıların istediği miktarda ve oranda ürünlerin üretimi için gerekli yazılımlar yapılmıştır. Sıvı dolum sistemi içerisinde gerçekleştirilen ana uygulamalar dolum, kapak takma ve etiketleme olmuştur. Bu ana uygulamalar içerisinde farklı yardımcı uygulamalar kullanılmış ve ana uygulama gerçekleştirimi sağlanmıştır. Üretim esnasında meydana gelebilecek herhangi bir probleme karşı düzeltme senaryoları geliştirilmiştir. Çalışmanın daha sonra bu konuda çalışabilecek araştırmacılara ve ilgili sektördeki imalatçılara rehber olabileceği düşünülmektedir.

## 5. Kaynaklar

- Aykaç, E. S. (2010). *Development of a SCADA Control System for a Weighing and Bagging Machine*. Master Thesis, Middle East Technical University Department of Mechanical Engineering, Ankara.
- Bayındır, R., Kaplan, O., Bayyığıt, C., Sarıkaya, Y., & Hallaçhoğlu, M. (2011). PLC ve SCADA Kullanılarak Bir Endüstriyel Sistemin Otomasyonu. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*, 27(1), 107–115. <https://dergipark.org.tr/en/pub/erciyesfen/issue/25571/269745>
- Becerikli, F. (2013). *PLC ve SCADA Sistemlerinde Katı ve Sıvıların Tartım Hassasiyetinin Arttırılması ve Dozajlanması*. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Chakraborty, K., Choudhury, M. G., Das, S., & Paul, S. (2020). Development of PLC-SCADA Based Control Strategy for Water Storage in a Tank for a Semi-automated Plant. *Journal of Instrumentation*, 15(4). <https://doi.org/10.1088/1748-0221/15/04/T04007>
- Çilek, A. (2005). *PLC (Programlanabilir Lojik Kontrol Cihazı) ve SCADA (Yönetim Denetim ve Veri Toplama) ile Endüstriyel Otomasyon Uygulaması*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Değirmencioğlu, G. (2008). *Ağırlık Duyarlı Elma Sınıflandırma Otomasyonunun Tasarımı ve Prototip İmalatı*. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Eminoğlu, Y. (2013). *PLC Programlama ve S7 1200*. Birsen Yayınevi.
- Erol, F., Emren, M., Öztürk, S., & Kuncan, M. (2015). PI Denetleyici ile Sıvı Seviye Kontrolünün Gerçek Zamanlı Olarak PLC İle Gerçeklenmesi. *Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı*, 10–12.
- Gençoğlu, C., Usta, S., & Gençoğlu, S. (2020). Programlanabilir Lojik Kontrolör (PLC) Tarafından Yönetilen Bir Tartılı Lizimetre Sisteminin Geliştirilmesi. *Mediterranean Agricultural Sciences*, 33(1), 107–115. <https://doi.org/10.29136/mediterranean.667338>

Hamzaoğlu, S. (2015). *Sepet Yıkama ve Salamura Dolum Makinası*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Kafalı, A. (2019). *PLC ve SCADA Tabanlı Sıvı Boya Dozajlama Sisteminin Gerçekleştirilmesi ve Performansının İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

MEGEB. (2014). Endüstriyel Otomasyon Teknolojileri, SCADA Sistemlerine Giriş. *Milli Eğitim Bakanlığı, Ankara*, 69.

Özer, A. (2016). *Endüstriyel Sistemlerde PLC ve SCADA Uygulaması*. Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Şeker, H. (2019). *SCADA Sistemler ve Modbus Güvenlik Açıklıkları*.

Yaşar, E. (2020). Bir Tartım Otomasyonunda, Platform Tipi Yük Hücrelerinin, S-tipi Olarak Kullanılması. *European Journal of Science and Technology, November*, 221–227. <https://doi.org/10.31590/ejosat.821620>



# Blokszincirde Anonim ve Devredilemez Biyometrik Dijital Kimlik

Neyire Deniz Sarier\*

B-IT, Cosec, Bonn, Almanya, (ORCID: 0000-0003-2129-0222), [denizsarier@yahoo.com](mailto:denizsarier@yahoo.com)

(İlk Geliş Tarihi: 20 Mart 2021 ve Kabul Tarihi 23 Ağustos 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.896960)

**ATIF/REFERENCE:** Sarier, N. D. (2021). Blokszincir Tabanlı Anonim ve Devredilemez Biyometrik Dijital Kimlik. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (27), 292-302.

## Öz

2017 yılında Augot et al. tarafından Bitcoin Blokszinciri üzerinde ilk kullanıcı odaklı Kimlik Yönetimi sistemi tanımlanmıştır. Ancak Bitcoin kripto para birimi anonim değildir, dolayısıyla mahremiyeti sağlamamaktadır. Bu nedenle, kimliği oluşturan unsurlardan biri olan biyometrik verilerin mahremiyeti sağlayan bir platformda ve şifreli olarak yönetilmesi gereklidir. Böylelikle hem devredilemezlik özelliği sağlanmış olacak, hem de kişisel verilerin en başında gelen hassas biyometrik veriler kriptografik yöntemler ile korunarak, anonim şekilde işlem görücektir. Esasen, bu özellikleri sağlayan ilk anonim biyometrik tanımlama sistemi, 2018 yılında Zerocoin blokszinciri üzerinde tasarlanmıştır. Bu sistemde biyometrik veriler (parmak izi, yüz, iris) şifreli olarak blokszincirde tutulmakta, kullanıcıdan bir servise erişim amaçlı kimlik tanımlama talebi geldiğinde, biyometrik tanımlama madenciler tarafından şifreli alanda yapılmakta ve bir eşleşme bulunduğu sonuç blokszincire kayıt edilir. Özetle, anonim transferler ile, servis sağlayıcılar anonim biyometrik tanımlama işlemini tamamlayarak kullanıcının talep ettiği erişim iznini sağlarlar. Bu araştırma makalesinde, Zerocoin ile birlikte güncel diğer anonim kripto para birimleri olan Zerocash ve Monero analiz edilerek, biyometrik verilere dayalı dijital kimlik yönetim sistemlerinde performans ve mahremiyet açısından daha iyi çözümlerin mevcut olup olmadığı incelenecektir. Bu inceleme sırasında önce anonim kriptoparalara ait blokszincirler üzerinde biyometrik tanımlama uygulaması, akabinde bu uygulama üzerinde basit bir modifikasyon ile anonim dijital kimlik yönetimi sistemi elde edilecektir. Son olarak bu çözümlerden en az maliyetli olanı, analiz edilen anonim kripto para sistemleri karşılaştırılarak tespit edilecektir. İlk sonuçlara göre, Cryptonote tabanlı Monero en uygun sistem olup, gelecekte daha yüksek güvenlik sağlayan RingCT tabanlı sistemler de değerlendirilecektir.

**Anahtar Kelimeler:** Blokszincir, Biyometri, Mahremiyet, Anonimlik, Dijital Kimlik, Bitcoin, Zerocoin, Zerocash, Monero

## Anonymous and Non-transferable Biometric Digital ID on Blockchain

### Abstract

The first user centric Identity Management system on the Bitcoin Blockchain was introduced in 2017 by Augot et al. However, Bitcoin is not an anonymous cryptocurrency, therefore, privacy is not guaranteed. Hence, one aspect of the identity, namely biometrics should be processed in a privacy preserving manner and as encrypted. This way, non-transferability is guaranteed in addition to the anonymous processing of the most important personal identifier, namely sensitive biometric data. In fact, the first anonymous biometric identification system that guarantees these notions was described in 2018 on top of Zerocoin protocol. In this system, biometric data (fingerprint, face, iris), are stored as encrypted on the Blockchain. If there is an incoming identification request from the user to access a service, the biometric matching is performed by the nodes/miners in the encrypted domain and if a match is found, it is recorded on the Blockchain. In summary, through anonymous transfers, service providers complete the anonymous biometric identification procedure and provides the necessary access to the service. In this research article, we evaluate recent privacy coins of Zerocash and Monero in addition to Zerocoin, and examine whether there exists better solutions in biometric based Identity Management systems with respect to efficiency and privacy. First, we describe anonymous biometric identification/authentication systems based on anonymous cryptocurrencies and then we modify them slightly to obtain anonymous Digital ID. Finally, we compare the analyzed privacy coins in order to find the cheapest solution. Initial results show that Cryptonote based Monero provides the most ideal system, leading to the evaluation of RingCT based systems guaranteeing a higher security level.

**Keywords:** Blockchain, Biometrics, Privacy, Anonymity, Digital ID, Bitcoin, Zerocoin, Zerocash, Monero

\* Sorumlu Yazar: [denizsarier@yahoo.com](mailto:denizsarier@yahoo.com)

## 1. Giriş

Blokzincir teknolojisi, verilerin haricinde değer atfettiğimiz varlıkları da transfer etmemizi sağlayan dağıtık bir veritabanıdır. Satoşi Nakamoto lakaplı gizli bir yazarın 2008 yılında önerdiği Bitcoin dijital parası (Nakamoto, 2008) ile birlikte dünyada yeni bir uluslararası para biriminin varlığından bahsedilmeye başlandı. Bitcoin, başlangıçta sadece kripto para olarak algılanmış, ancak sonradan Bitcoin'in dayandığı Blokzincir teknolojisinin daha genel kullanım alanları olabileceği farkedilmiştir. En genel ifadeyle, blokzincir, merkezi bir sunucunun veya güvenilir bir otoritenin kaldırılmasına olanak sağlayarak, merkezi güvenin internet ortamında dağıtılmasına denir. Blokzincir teknolojisi yaygın olarak Bitcoin ve Ethereum gibi sanal paraların altındaki teknoloji olarak bilinmektedir. Fakat bu teknoloji sağladığı olanaklar ve çeşitlendirilebilir uygulamaları ile çok daha geniş bir yelpazeye sahiptir (BZLab, 2021). Blokzincir ile alakalı tüm akademik araştırmaların yaklaşık % 80'i Bitcoin odaklıdır. Çalışmaların %20'si ise akıllı kontratlar dahil olmak üzere yeni blokzincir uygulamalarına odaklanmıştır. Bu çalışmalar, ileri kriptografi mekanizmaları (özet fonksiyonlar (hash functions), dijital imza), açık anahtar altyapısı (asymmetric cryptography), taahhüt şemaları (commitment schemes), sıfır bilgi protokolleri (zero knowledge protocols), dağıtık sistemleri ve oyun kuramını araç olarak kullanır (BZLab, 2021).

*Bitcoin (BTC) ve Blokzincir:* İdeal bir dijital para 3 özellikle betimlenir: Birincisi, tamamen merkezsizleşmiş, yani bankanın olmadığı, ikincisi, güvenlidir, yani taklit edemez ve üçüncüsü ise mahremiyetin sağlanmasıdır, diğer bir deyişle dijital parayı anonim olarak kullanabilirsiniz, işlemlerinizi takip eden insanlar için endişelenmenize gerek kalmaz. Bitcoin, sistemdeki oyuncuların (miners yani madenciler) çoğu dürüst davrandıkları sürece işe yararmaktadır.

Bir bankamız olduğunu varsayalım ve Alice (A), Şekil 1' deki 0.32 BTC değerindeki çeki sahip olsun. Alice (A), Bob'a (B) bu çeki göndermek istiyor. Alice çeki ters çevirir ve arka tarafına "Bu çek Bob'a ödenecektir" yazarak imzalar. Alice'in imzası kimliğini doğrulamak içindir. Bu çekin önu ve arkasını kontrol eden herhangi bir kişi, imzaları kontrol eder ve Bob'un gerçekten bu çeki sahip olduğundan emin olur. Bu sayede, artık bu belirteçleri (token) bir kişiden diğerine aktarabilen bir mekanizmaya sahibiz. Aynı işlemi elektronik olarak yapmak için, Alice'in adını Alice'in açık anahtarı (public key) ve Alice'in ıslak imzasını ise dijital imzası ile değiştirmek yeterlidir. Özetle banka çeki artık bir dosya olmuş ve eğer ilk dosyaya güvenirsek, dijital imzalar kullanarak zincirleme sahiplik transferleri yapabiliriz. Benzer şekilde Bob (B) aynı çeki biraz daha fazla bilgi ekleyip imzalayarak Charli'ye (C) 0.23 BTC değerinde ödeme yapabilir. Para üstü olan 0.98BTC 'yi ise, Bob kontrol ettiği başka bir Bitcoin adresine (D) gönderir. Bitcoin'deki dijital imza, asimetrik anahtar şifreleme sistemine dayanır. ( $pk$ ;  $sk$ ) asimetrik bir anahtar ikilisi olsun,  $pk$  açık anahtarı (public key),  $sk$  gizli anahtarı (secret key) ifade eder ve bu iki anahtar birbiri ile matematiksel olarak ilişkilidir. Standart kriptografik imzalarda,  $sk$  gizli anahtarı kullanılarak atılan bir imza  $pk$  açık anahtarı kullanılarak doğrulanır. Yani, imzanın doğrulanabilmesi için hangi açık anahtarın kullanılacağına bilinmesi gerekir. Asimetrik şifrelemede açık

anahtarın kamu ile paylaşılmasında mahsur bulunmazken, özel anahtarın sadece sahibi tarafından bilinmesi gerekir. Bir veriye (olayımızda çek) elektronik imza atarken, o verinin özeti (hash) gizli anahtar ile şifrelenir. Veri ve imza paylaşılır. Sistemdeki herhangi bir kişi (olayımızda madenciler) ilintili açık anahtar ile imzanın doğruluğunu kontrol eder.

*Çifte harcama sorunu (Double Spending).* Bu sorun Alice'in aynı çeki alarak iki kopyasını çıkarıp, birini Bob'a, diğerini ise Charlie'ye göndermesidir. Bu sorun, ağdaki tüm harcamaları takip eden merkezileştirilmiş bir veritabanımız olduğunu varsaydığımızda kolayca çözülebilir. Alice, Bob'a transfer yaptığında, bu havale veritabanında kayıtlı olur, böylece Bob aynı çekin daha önce transfer edilip edilmediğini kontrol edebilir ve çift harcama önlenir. Fakat bu yaklaşımla merkeziyetçi olmayan bir sisteme sahip olamayız. Bitcoin bunu dağıtılmış bir fikir birliği yaklaşımıyla çözer. Merkezi bir veritabanı yerine bir veritabanını böler ve peer-to peer (P2P) ağda aynı bilgiyi çoğaltan birçok farklı taraf yer alır. Herkesin veritabanı hakkında aynı görüşe sahip olması, veritabanının güncellenmesi ve yeni blokların oluşması, emeğin ispatı anlamına gelen proof-of-work yaklaşımı ile çözülmektedir. Madenciler, tüm bu işlemleri yaparken kriptografik hesaplamaların zorluğunu arkasına alarak harcanan emeğin bir varlık/emtia/değer olmasını sağlamaktadır (BZLab, 2021).

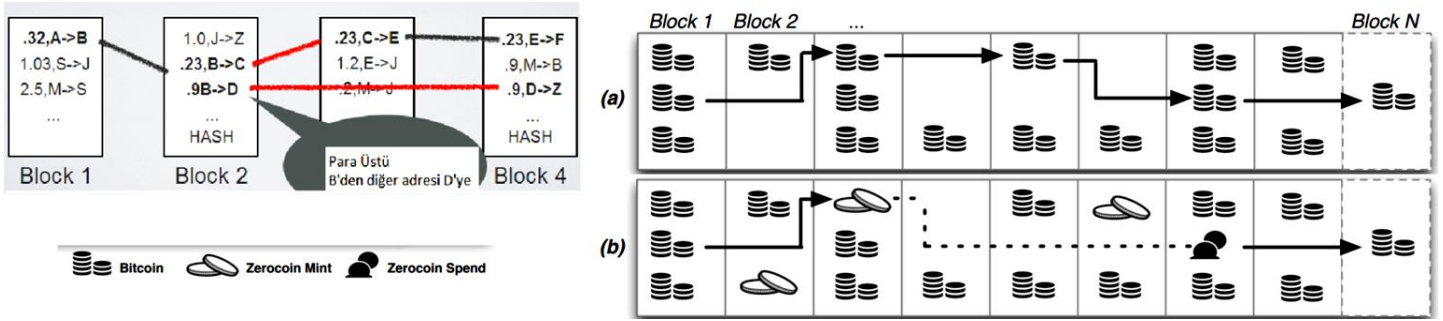
### 1.1. Literatür Taraması

Giriş bölümünde de ifade edildiği gibi, Bitcoin, başlangıçta sadece kripto para olarak algılanmış, ancak sonradan Bitcoin'in dayandığı Blokzincir teknolojisinin daha genel kullanım alanları olabileceği farkedilmiştir. Bunlardan en güncel uygulama alanı Dijital Kimlik, diğer bir deyişle, Blokzincir tabanlı kimlik yönetimi uygulamasıdır. 2017 yılında, Bitcoin blokzinciri üzerinde ilk kullanıcı odaklı dağıtık kimlik yönetim sistemleri (Augot et al., 2017a,b) tanımlanmıştır. Sistemdeki farklı partiler (Augot et al., 2017a) Bitcoin transferleri ile haberleşir. Böylece, Kimlik sağlayıcılar (IP) sistem için gerekli altyapıyı Bitcoin ağından temin ederek, madencilerin emeği sonucunda, verilerin bütünlüğünü garanti ederler. (Othman and Callahan, 2018) sistemindekine benzer şekilde, (Augot et al., 2017a) kimlik verilerini taahhüt şeması kullanarak blokzincirde tutar, ve ilgili sıfır bilgi ispatlarını blokzincir dışında tutar, ya da ispatların tutulduğu link bilgisini kimlik doğrulama transfer işleminin extra bölümünde (OP\_RETURN) belirtir.

Diğer taraftan, biyometrik verilere dayalı kimlik tanıma uygulamaları 2015 yılında başlamıştır. Örneğin, CryptID (CryptID, 2018) girişimi şifreli parmak izine dayalı kişi tanımlama verilerini Factom blokzincirinde tutarak, parmak izi tanımlama sistemlerinde yer alan geleneksel merkezi sunucuyu elimine eder. (Othman and Callahan, 2018) projesi ise biyometri tabanlı kimlik üzerine inşa edilmiştir ve merkezi olmayan tanımlayıcı (DIDs) ve kişi egemen kimlik konseptini blokzincir tabanlı olarak tasarlamıştır. Biyometrik şablon'un (template) parçaları, blokzincir dışı (off-chain), i.e. Dropbox, Google drive gibi platformlara dağıtılarak, blokzincir aracılığıyla bu platformlardan güvenli şekilde referans edilir. Biyometrik kimlik verilerine dayanan diğer blokzincir tabanlı biyometrik tanımlama/doğrulama ve kimlik yönetim sistemleri (Toutara and Spathoulas, 2020; Zhou et al., 2018; Liu et al., 2019; Augot et al., 2019; Bernabe et al., 2019; Lesavre et al., 2019; Sarier, 2021) yayınlarında yer almaktadır.



Şekil 1: Blokzincir'de tersine anonimleştirme ve (a) Bitcoin blokzinciri: Her transfer önceki transferle bağlantılıdır (b) Zerocoin blokzinciri (Miers et al., 2013) (mint) basılan ve harcanan (spend) zerocoinler arasındaki bağlantı (kesik çizgi ile gösterilen) blokzincir transfer tarihçesinden anlaşılabilir.



(Augot et al., 2017a) de tanımlanan kimlik yönetim sistemi kimlik işlemlerinin bağlantısızlığını sağlamak için farklı bitcoin adresi kullanmasını zorunlu kılar. Ancak

yukarıdaki örnekte gözlemediğimiz üzere Bitcoin transferleri tersine anonimize edilebildiğinden, ancak mahremiyeti sağlayan kripto paralar üzerinde kurulacak kimlik yönetimi sistemleri kişisel mahremiyeti sağlayacaktır. Nitekim bu özellikleri sağlayan ilk biyometrik kimlik saptama sistemi (Sarier, 2018) 2018 yılında Zerocoin blokzinciri üzerinde tasarlanmıştır. Bu sistemde biyometrik veriler (parmak izi, yüz, iris vs.) şifreli olarak blokzincirde tutulmakta, kullanıcıdan bir servise erişim amaçlı kimlik saptama talebi geldiğinde, kimlik eşleşmesi madenciler tarafından şifreli alanda yapılmakta ve eşleşme bulunduğu sonuç blokzincire kayıt edilir. Sonuçta, anonim transferler ile, servis sağlayıcılar anonim biyometrik eşleşmeyi tamamlayarak kullanıcının talep ettiği erişim iznini sağlarlar. Zerocoin (Zcoin) (Miers et al., 2013), Zerocash (ZEC) (Sasson et al., 2014) ve Monero (XMR) (van Saberhagen, 2013) kullanıcı anonimitesini sağlayarak bu sorunu çözebilecek mevcut platformlardır.

## 1.2. Motivasyon ve Katkı

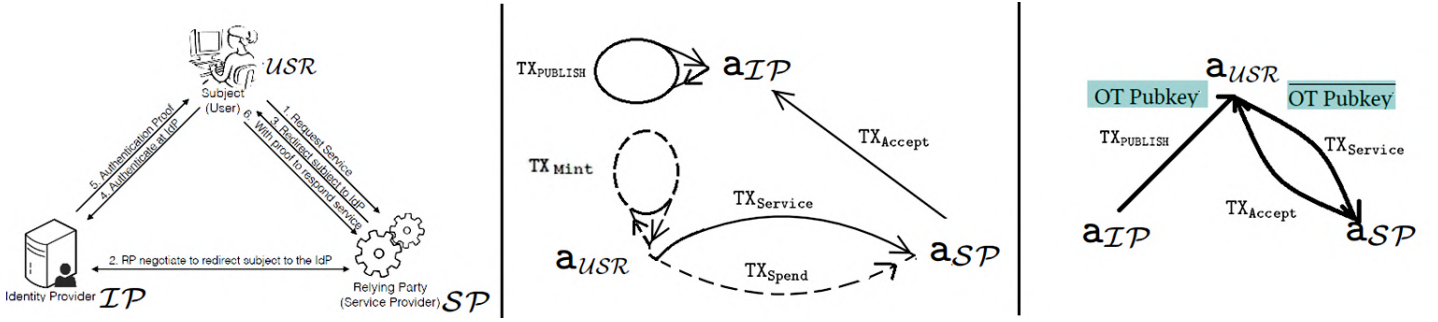
2012 yılına kadar çıkan kripto paralar, gizlilik ve mahremiyet gibi özelliklere sahip değildi. Örneğin Bitcoin'de bir adresin yapmış olduğu işlemlerin izlenebilmesi Şekil 1'de görüleceği üzere mümkündür. Gizlilik söz konusu olduğunda Bitcoin'in yapısında bazı içsel kusurlar vardır. Bunun en iyi örneği, 'çift harcama' (double spending) olarak bilinen problemi çözme yönteminin, tüm Bitcoin işlemlerini bir kamu muhasebesinde depolamaktır. Bu, her işlemin gizliliğini feda ederek görünür olduğu anlamına gelir. Ayrıca, birçok çalışma Bitcoin'in ağ topolojisini analiz etmek için çeşitli teknikleri kullanabileceğini göstermiştir. Aslında, bunlar sosyal ağ topolojisini analiz etmek için kullanacağınız aynı yöntemlerdir, bu da birçok kişinin bunlara aşina olduğu anlamına gelir.

Herkes, kayıt defterine (ledger) erişebildiğinden, mahremiyet yoktur. Bu durumun önüne geçebilmek amacıyla her transfer için başka adres (pseudonym) kullanılması, transferlerin karıştırma servisleri aracılığıyla yapılması gibi yöntemler önerilmiş olsa da, önerilmiş olan yöntemler hem tam bir çözüm getirmemekte hem de sisteme ekstra yük bindirmektedirler. Kullanıcılar, mahremiyetlerini artırmak için birçok kimlik (pseudonyms) kullanabilirken, işlem grafiğinin yapısı, işlemlerin değeri ve tarihleri gibi blok zincirindeki bilgiler kullanılarak Bitcoin tersine anonimleştirilebilir.

Bu makalede transfer tutarını da gizleyen komplike çözümler yerine, yalnızca kullanıcıları anonimleştiren sistemlere odaklanılacaktır. Her ne kadar 2018 yılında Sarier tarafından yazılan ilk anonim biyometrik eşleşme sistemi ile analize başlansa da, tasarlanan Zerocash ve Monero tabanlı sistemler, biyometrik eşleşmenin ötesinde, biyometrik veriye dayalı kimlik güven belgelerinin yönetimi olarak genelleştirilecektir. Bu nedenle, Önbilgi bölümünde kimlik güven belgesi ve bu belgeye fuzzy extractor yapı taşı kullanılarak biyometrik verinin eklenmesi konuları kısaca ele alınacak ve bu konudaki bir örnek uygulama (Şekil 3) sunulacaktır. Daha sonra Şekil 3'de yer alan ve Bitcoin tabanlı olması nedeniyle sadece transfer edilemezlik özelliğini taşıyan kimlik yönetim sistemi, Zerocoin, Zerocash ve Monero anonim kripto para sistemleri üzerinde yeniden tasarlanacaktır. Böylece, KVKK (Kişisel Verilerin Korunması Kanunu) dikkate alınarak anonim ve transfer edilemez dijital kimlik yönetim sistemleri her bir kullanıcı açısından gerekli transfer sayısı, toplam transfer maliyeti, ölçeklenme konularında analiz edilecektir.

Zerocoin tabanlı biyometrik eşleşme sisteminde olduğu gibi, yeni tasarlanan blokzincir tabanlı anonim kimlik tanımlama sistemlerinde transfer tutarı sembolik değerde ve önemdedir. Esas amaç, biyometrik tabanlı kimlik tanımlama işleminin anonim şekilde yapılmasıdır. Zerocoin (Miers et al., 2013), Zerocash (Sasson et al., 2014) ve Cryptonote bildirisinde yer alan şekliyle Monero (van Saberhagen, 2013) kullanıcı anonimitesini sağlayarak bu sorunu çözebilecek mevcut platformlardır. Her üç sistemin avantaj ve dezavantajları değerlendirilmeli, kimlik tanımlamaya olanak tanıyacak ekstra bilgi alanlarının mevcut olup olmadığı, betiklerinin tasarlanacak sistemle uyumu, sembolik transfer miktarının dışında, her bir transfer işlemi karşılığı madencilerin aldığı komisyon tutarı (fee) karşılaştırılmalı, ve mahremiyeti en yüksek seviyede, en az komisyon tutarıyla, en hızlı transfer onaylama ve her bir transferin gerektirdiği matematiksel hesap ve kB miktarını minimum tutarak ölçekleme sorununu en aza indirgeyen çözüm bulunmaya çalışılmalıdır. Bu esaslar çerçevesinde, her üç yeni tasarım transfer ücretleri, transfer büyüklüğü, ve işlemlerin sonuçlanması açılarından değerlendirilip, karşılaştırılmalı olarak sunulacaktır. Sonuç bölümün de ise gelecek çalışmalar hakkında öngörüler sunulmaktadır.

Şekil 2: Geleneksel (Zhu and Badr, 2018) ve Blokzincir tabanlı (Augot et al., 2017a, 2019; Sarier, 2018) kimlik yönetimi: Kesik çizgili transferler (Sarier, 2018)'e mahsustur. Son grafik Bölüm 3' de tasarlanan Monero tabanlı kimlik yönetim sistemini temsil eder.



## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Ön bilgi: Brands DLRep Şeması

Brands DLRep şeması (Brands, 2000),  $n-1$  alanlı bir kimlik için  $(X_1, \dots, X_{n-1})$ , seçmeli olarak açık edilen dijital kimlik sistemlerinin temelini oluşturan bir kriptografik yapıdır. Burada,  $q$  bir asal sayıyı ve  $\mathbb{G}$  ise grubu temsil eder, Bitcoin imza protokolündeki grup ile aynı grup temel alınabilir (Augot et al., 2017a,b).

**Credential (Kimlik Güven belgesi) oluşturulması:**  $g_0, g_1, \dots, g_n \in \mathbb{G}$  olarak seçilir. Burada  $X_0$  alanı, bir saldırganın diğer kimlik alanlarına  $X_j$ ler ilişkin veriler hakkında öncelikli bilgi edinmesini önler (Augot et al., 2017b).  $(X_0, X_1, \dots, X_{n-1}) \in \mathbb{Z}_q^n$  veri grubu,  $h = \prod_{j=0}^{n-1} g_j^{X_j}$  verisinin  $(g_0, g_1, \dots, g_{n-1})$  bağlamında/tabancında DLRep yapıtaşı olarak adlandırılır.

**Credential (Kimlik Güven belgesi) gösterilmesi:** Gösterim protokolü, bir kullanıcıdan kanıtlanması talep edilen bazı kullanıcı kimlik verilerinin, talep edilmeyen diğer kullanıcı kimlik verilerini açık etmeden, yani sıfır bilgi kanıtı (zero knowledge proof) yöntemi kullanılarak, kullanıcı tarafından ilgili mercie gösterilmesidir. İspat, ancak akıllı kartta saklanan taahüt edilmiş Kimlik Güven belgesindeki veriler ile aynı olursa yapılabilir. Bir doğrulayıcıya  $h$  verisinin DLRep'i kanıtlanırken, ispatlayan aşağıda sıralanan protokol adımlarını işleme koyar (Brands, 2000).  $(j, X_j)$  açık edilen kimlik verilerini ifade eder ve bu veriler  $j \in D \subseteq \{1, \dots, n-1\}$  tüm kimlik alanlarına ait index kümesinin bir alt kümesidir. Böylece gizli kalması istenen kimlik alanları  $C = \{1, \dots, n-1\} \setminus D$  terimi ile ifade edilir.

DL taahütlerinin çarpımları gerek gizli kalan gerek açık edilen kimlik verileri için aşağıdaki şekilde temsil edilir.  $h^C = \prod_{j \in C} g_j^{X_j}$  ve  $h^D = \prod_{j \in D} g_j^{X_j}$  ve  $h = g_0^{X_0} h^C h^D$ .  $j \in D$  için  $(j, X_j)$  ile temsil edilen kimlik verileri gerek ispatlayan  $\mathcal{P}$  ve gerekse  $\mathcal{V}$  tarafından bilindiğinden, her iki aktör de  $h^D$  verisini hesaplayabilir.

Aşağıdaki protokol bir doğrulayıcı  $\mathcal{V}$ 'e,  $H = h(h^D)^{-1} = g_0^{X_0} h^C$  verisinin DL değerini  $g_i$ 'lar bağlamında/tabancında ispatlar. Burada  $i \in C$  değerleri sadece ispatlayıcı  $\mathcal{P}$  tarafından bilinir.

- 1) İspatlayan  $\mathcal{P}$  rastsal ve gizli  $a_0 \in \mathbb{Z}_q, a_j \in \mathbb{Z}_q$  sayılarını  $j \in C$  için üretir.  $A = g_0^{a_0} \prod_{j \in C} g_j^{a_j}$ . İspatlayıcı  $\mathcal{P}$ ,  $A$  değerini doğrulayıcı  $\mathcal{V}$ 'te iletir.
- 2) Doğrulayıcı  $\mathcal{V}$  rastsal  $c$  değerini gönderir.
- 3) İspatlayan  $\mathcal{P}$ ,  $b_0 = a_0 + cX_0$ , ve  $b_j = a_j + cX_j$  değerlerini,  $j \in C \subseteq \{1, \dots, n-1\}$  için hesaplar ve  $\mathcal{V}$ 'e gönderir.
- 4) Doğrulayıcı  $\mathcal{V}$ ,  $A = g_0^{b_0} \prod_{j \in C} g_j^{b_j} H^{-c}$  eşitliğinin sağlanıp sağlanmadığını kontrol eder.

Blokzincir tabanlı kimlik yönetim sistemlerinde, doğrudan kimlik güven belgesi gösterimine ilişkin ispatlayanın hazırladığı sıfır bilgi kanıtının yer aldığı link bilgisi, servis talebini içeren transferin (TX<sub>Service</sub>) ekstra kısmına, diğer bir deyişle OP\_RETURN bölümüne (proof-ref) olarak eklenir. Böylece, Bitcoin blokzincirine maksimum 80 Byte büyüklüğünde veriyi yazdırabilme olanağı sağlayan OP\_RETURN betiği, kimlik güven belgesinin gösterimine ilişkin ispat bilgisinin de bütünlüğünü proof-ref ile garanti altına almış olur. Örnek bir uygulama, Şekil 3'de sunulmuştur.

### 2.2. Fuzzy extractors

Fuzzy extractor (Dodis et al., 2004) yapıtaşı, kullanıcıya ait biyometrik veriye  $w$  dayanan bir mekanizmadır. Spesifik olarak, kullanıcıya ait başka ve benzer bir biyometrik veriden  $w'$ , daha sonra orjinal verinin  $w$  aynen tekrar oluşturulması amacıyla kullanılan bir metottür. Fuzzy extractor Gen algoritması ile orjinal biyometrik veriyi girdi olarak alır, ve rastsal bir dizini R ve yardımcı veri P'yi çıktı olarak verir. Herhangi başka bir zamanda rastsal dizin R, bu defa Rep algoritması yardımıyla yeniden oluşturulabilir. Eğer tanımlanan metrikte  $dis(w;w') < d$  uzaklık koşulu sağlanırsa, Rep algoritmasına orjinal biyometrik veriye benzer bir  $w'$  ve yardımcı veri P girdi olarak verildiğinde aynı R verisi elde edilir. Gen ve Rep algoritmalarının detayları için okuyucu (Blanton and Hudelson, 2009; Dodis et al., 2004) yayınlarından faydalanabilir.

### 2.3. Blokzincir'de biyometrik veriye dayalı kimlik yönetim ve ödeme sistemleri

Şekil 3: (Augot et al., 2017a) kimlik yönetim sisteminin, biyometrik veri  $w$  ve fuzzy extractor yapı taşları kullanılarak devredilemez hale getirilmesine dair örnek uygulama (Sarier, 2021).  $TX_{REQUEST}$ , Şekil 2’de yer alan  $TX_{Service}$  ile aynı fonksiyonu yerine getirir.

Input Addresses	Amounts	Output Addresses	Amounts
<b><math>TX_{PUBLISH}</math></b>			
$a_{IP}$	$V + D + F_{PUBLISH}$	$a_{USR}^{(i)}$	$D$
		$MSIG1\_2(a_{USR}^{(i)}, a_{IP})$	$V$
		$OP\_RETURN(h_{a_{USR}^{(i)}})$	
		Fees:	$F_{PUBLISH}$
Structure of $TX_{PUBLISH}$ .			
$(X_0, X_1, \dots, X_{n-1}) \in \mathbb{Z}_q^n$ is DLRep of $h_{a_{USR}^{(i)}} = \prod_{j=0}^{n-1} g_j^{X_j}$ with respect to $(g_0, g_1, \dots, g_{n-1})$ .			
$X_1 = H(R)$ , $R = \text{Ext}(w; r_2)$ given that $\text{dis}(w, w') \leq d$ with $P = (S, r_2)$			
<b><math>TX_{REQUEST}</math></b>			
$MSIG1\_2(a_{USR}^{(i)}, a_{IP})$	$V$	$a_{SP}$	$F_{ACCEPT} + D$
		$MSIG1\_2(a_{USR}^{(i)}, a_{IP})$	$V - (F_{REQUEST} + F_{ACCEPT} + D)$
		$OP\_RETURN(\text{proof-ref})$	
		Fees:	$F_{REQUEST}$
Structure of $TX_{REQUEST}$			
<b><math>TX_{ACCEPT}</math></b>			
$a_{SP}$	$F_{ACCEPT} + D$	$a_{IP}$	$D$
		Fees:	$F_{ACCEPT}$
Structure of $TX_{ACCEPT}$			

Literatür taramasında yer alan yayınlanmış bir çok bilimsel çalışmaya ilaveten, teknoloji firmaları da biyometri ve blokzinciri bir araya getiren birçok ürün geliştirme faaliyetini gerçekleştirmektedir (BCTR, 2021). Bu konuda, Şekil 3’de sunulan uygulamada, Brands credential şeması (Brands, 2000), Fuzzy extractor (Dodis et al., 2004; Blanton and Hudelson, 2009) algoritması ve Bitcoin tabanlı kimlik yönetim sistemi (Augot et al., 2017a) bir araya getirilerek, Blokzincir tabanlı biyometrik veriye dayalı transfer edilemez kimlik yönetim sistemi uygulaması gerçekleştirilmiştir.

#### 2.4. Anonim Kripto paralar

Zerocoin (Miers et al., 2013) Bitcoin’deki tersine anonimleştirme sorununu isimsiz/anonim para birimi işlemlerine izin verecek şekilde Bitcoin’i genişleterek çözer. Zerocoin, sıfır bilgi kanıtına dayalı, Bitcoin forku olarak tanımlanan ilk anonim kripto para birimidir. Sıfır bilgi kanıtları, söz konusu bilgileri fiilen ifşa etmeden bilginin varlığını kanıtlama yöntemleridir.

**Mint (Para basma):** Bu teknoloji ile, halka açık defterde bulunan bir bitcoin özel bir madeni paraya (zerocoin) dönüştürülür. Bu dönüştürme taahüt şeması kullanılarak yapılır. Benzetme yaptığımızda, mint işlemi, herhangi bir parada bulunan tek bir seri numarasının sadece sahibi tarafından üretilip bilinerek, mühürlü bir zarfa konup zarfın kapatılması şeklinde düşünülebilir.

**Spend (Harcama):** Daha sonra, bu “dar” parayı harcamayı seçtiğinizde, sahibini açığa çıkarmaya gerek yoktur. Zerocoin, sıfır bilgi kanıtları ile doğrulamadan sonra bitcoin’e geri dönüştürülür. Bu sistemi bir çamaşırhaneye benzetebiliriz. Tamamen eş zerocoinler (beyaz gömlekler) aynı makinede (Akümülatör) toplanarak yıkanır ve sahipleri gömleğini giymek istediğinde, sıfır bilgi kanıtıyla makinedeki bir gömleğin sahibi olduğunu kanıtlayan kişi, herhangi birini makineden alır ve kullanır (zerocoin harcama). Yeni basılan Zerocoin’lerin sahiplerine bağlı bir işlem kaydı yoktur ve kullanıcılar yeni paraları herhangi bir mezhebe harcama özgürlüğüne sahiptir. Tam gizlilik için bu işlemi tekrar tekrar yapabilirsiniz. Yeni zerocoin’in iptali süreci, işlemin eski işlemlere bağlı olmadığı anlamına gelir. Bu blokzinciri bozar (Şekil 1 (b), kesik çizgi) ve zerocoinlerin sahibini belirlemek için blok zincirini analiz etme seçeneğini ortadan kaldırır.

#### 2.5. Zerocoin tabanlı Anonim Biyometrik Kimlik Tanımlama

(Sarier, 2018)’de yayınlanan blokzincir tabanlı ilk anonim biyometrik kimlik tanımlama sistemi, üç ana aktör (kullanıcı  $USR$ , kimlik sağlayıcı  $IP$  ve servis sağlayıcı  $SP$ ) ve üç adımda, Kurulum, kayıt ve tanımlama algoritmaları ile çalışır.

**Kullanıcı kaydı:**  $USR$ ,  $IP$ ’ye kimliğini kanıtlar ve bitcoin adresini  $a_{USR}$  ve biyometrik verisini şifreleyecek açık anahtarını sunar.  $IP$ , kullanıcının şifreli biyometrik şablonunu  $b_{USR}$  içeren  $TX_{PUBLISH}$  transferini şekil 4 deki gibi yayımlar. Kullanıcı sistemden çıkmak isterse,  $IP$  kullanıcı kaydını  $TX_{REVOKE}$  transferi ile iptal eder.

**Biyometrik tanımlama:** işlemi için ilave dört transfer gerekir:  $TX_{Mint}$ ,  $TX_{Spend}$ ,  $TX_{Service}$  ve de  $SP$ ’nin onay/red kararını bildirdiği,  $TX_{Accept}$  ya da  $TX_{Reject}$ .

1- *Zerocoin basma* ( $TX_{Mint}$ ): Kullanıcı  $USR$ , kendi bitcoin adresini  $a_{USR}$  kullanarak bir Zerocoin basar. Bitcoin giden adres bölümünde yer alan  $scriptPubKey$ , talimat olarak  $ZEROCOIN\_MINT$  verisini ve basılan parayı  $c_1$  içerir. Bu transferi alan madenciler basılan  $c_1$  parasının doğru şekilde üretildiğini teyit eder.

2- *Zerocoin harcama* ( $TX_{Spend}$ ): Kullanıcı girdi olarak sahihsiz bir zerocoin mint transferini  $TX_{Mint}$  seçer ve  $SP$ ’nin açık anahtarına gönderecek şekilde ilgili transferi hazırlar. Bu aşamada önce sistemdeki tüm zerocoinleri akümüle eder (C) ve  $Spend$  algoritmasını çalıştırır.

$$Spend(params, \bar{b}_{USR}, c_1, sk_{c_1}, hash(ptx), C) \rightarrow (\pi_1, S_1).$$

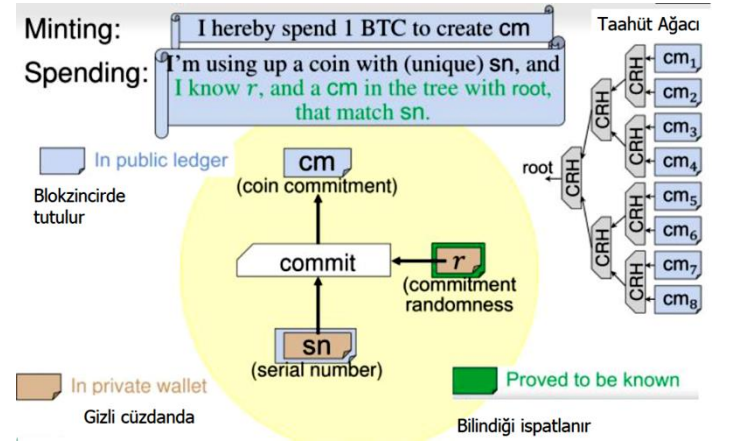
Son olarak,  $TX_{Spend}$  transferinin gelen bölümünde  $(\pi_1, S_1)$ , yani sıfır bilgi kanıtı ve bastığı paraya ilişkin seri numarasını  $S_1$  dijital imza yerine yazar. Aynı bölümde, sıfır bilgi kanıtı  $\pi_1$  hesabında kullanılan akümülatörün yer aldığı bloğa referans verir.  $TX_{Spend}$ ’in giden adres bölümünde yer alan ekstra kısmına ( $OP\_RETURN$ ) ise, şifrelenmiş güncel biyometrik şablon  $\bar{b}_{USR}$ , ve ikinci bir seri numarasına taahüt eden  $c_2$ ’yi ekler. Böylece, şifrelenmiş güncel biyometrik şablon ve ikinci bir taahüt kayıt altına alınır. Bu taahüde ilişkin sıfır bilgi kanıtı daha sonra bir  $TX_{Service}$  talebi ile anonim biyometrik tanımlamada kullanılacaktır.

### 3. Mahremiyeti sağlayan kripto paralar üzerinden kimlik yönetimi

#### 3.1. Zerocoin yerine daha güvenli bir çözüm: Zerocash

Miers vd. tarafından tasarlanmış Zerocoin (Miers et al., 2013), paraların izlenebilirliğini bozarak Bitcoin'i anonimlikle beraber sunmayı amaçlar. Ancak sonuç olarak ortaya çıkan kripto para tam teşekküllü anonim ödemeleri çeşitli nedenlerden dolayı destekleyemez. İlk olarak, Zerocoin sadece gönderici mahremiyetini sağlar ve sabitlenmiş nominal değerleri kullanır. Bu, anonim kimlik tanımada esasen bir dezavantaj yaratmaz, çünkü anonim kimlik tanımada gönderilen transfer tutarları semboliktir ve birbirine eşit tek bir değere  $D$  sahiptir. Ayrıca, alıcı hesapların kimliğinin gizlenmesine gerek yoktur çünkü bunlar zaten servis sağlayıcının kendisidir. İkinci olarak, ödemedi önce anonim paralar anonim olmayan bir hesaba transfer edilmelidir. Son olarak, işlemlerin içindeki para miktarını belirten veya diğer anlamlı veriler gizlenmez (Sasson et al., 2014) ve Zerocoin protokolüne ilişkin bazı güncel saldırılar tasarlanmıştır (Ruffing et al., 2018).

Şekil 5: Zerocash'de para basma: Mint. Sasson et al. (2014)



Tüm bu problemleri çözmek için Ben-Sasson vd. (Sasson et al., 2014) Zerocash'i tasarlamışlardır. Zerocash kullanıcının anonimliğini ve anonim paralarla işlem verisinin gizliliğini sağlar. Üstelik, Zerocash işlem boyutunu önemli boyutlarda küçültür (tek bir para için 1 KB'den daha az) ve onaylama zamanını 6 ms'den daha aza indirir (Sasson et al., 2014). Zerocash'te, işlemler üçe ayrılır: basecoin işlemi, mint (para basma) işlemi ve pour (spend) işlemi. Anonim kimlik tanımada, Zerocoin tabanlı (Sarier, 2018)'de olduğu gibi aşağıdaki iki temel işlem kullanılmaktadır.

-Mint işlemi ( Şekil 5):  $cm$  para taahhüdü,  $v$  para değeri ve  $*$  diğer gerekli bilgileri saklamak için ayrılmış alan olmak üzere, Zerocash'te bir mint işlemi ( $cm, v, *$ ) verilerinden oluşur. Bir mint işlemi blokzincire eklendiği zaman, belli sayıda para blokzincire işlenmiş olur. Mint işlemi gerçekleştiren kişi, kendi adresini ya da transfer edilen değerleri açığa çıkarmadan blokzincire işlenmiş bu değerleri transfer edebilir. Anonim kimlik tanıma uygulamasında  $v$  değeri  $D$  sabit değerine eşittir ve Zerocash için 1BTC olarak sabitlenebilir.

$TX_{Spend}$  ağda görüldüğünde, madenciler referans verilen bloktan elde ettikleri akümülatörü kullanarak, harcama işlemini  $Verify(params, \pi_1, S_1, hash(ptx), C) = 1$  ile doğrular ve  $S_1$  seri numarasının daha önceki bir transferde kullanılmadığını teyit eder. Tüm bu koşullar sağlandığında, ağ, harcama transferini onaylar ve kullanıcının bitcoin ödemesine izin verir.

Bu doğrulama işlemine paralel olarak, madenciler  $\bar{b}_{USR}$  biyometrik şablonunu sistemde kayıtlı tüm şablonlarla şifreli alanda karşılaştırır. Eğer tek bir eşleşme kararı oluşursa (çünkü iki eşleşme bulunması, kullanıcı kaydının iptal edildiği anlamına gelir),  $S_1$  seri numarası ve ağın kararı harcanan seri numarası listesine konur. Bu liste kullanıcı ve  $IP$  tarafından tutulur. Eğer eşleşme kararı listelenirse, ilgili ikinci taahhüt  $c_2$  madenciler tarafından ikinci bir akümülatör kullanılarak biriktirilir ve bu ikinci akü gerçekte sadece biyometrik olarak eşleşmiş paraları içerir.

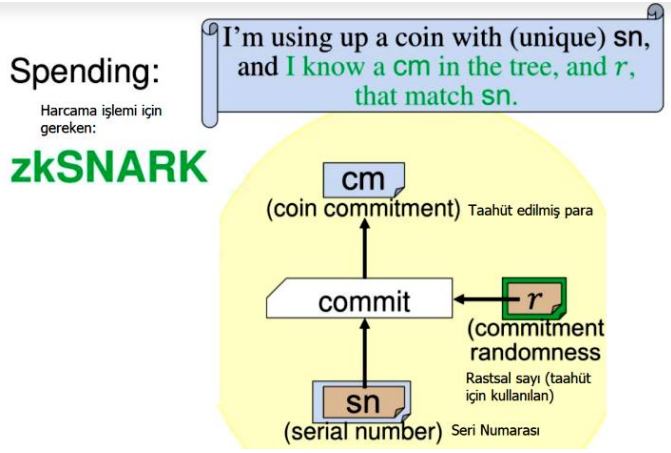
3- *Servis talebi* ( $TX_{Service}$ ): Kullanıcı  $TX_{Mint}$ 'den farklı bir bitcoin adresi ile  $a_{SP}$ ' Şekil 4'deki  $TX_{Service}$  transferini yapar. Aynı işlemler bu defa  $S_2$  seri numaralı para üzerinden ve  $a_{SP}$ 'nin doğrulayıcı olmasıyla blokzincir dışında (offchain) tamamlanır. Böylece, kullanıcı ikinci bir seri numarasını  $S_2$  taahhüt eden  $c_2$  parasını bildiğini sıfır bilgi protokolü ile servis sağlayıcıya  $SP$  offchain olarak ispatlar ve anonim biyometrik tanımlama gerçekleşir.

4- *Servis sağlayıcının kararı* ( $TX_{Accept}$  or  $TX_{Reject}$ ): Kullanıcının sıfır bilgi ispatlarının doğrulanması ile  $SP$  kabul ya da red kararı verir ve ilgili kararın transferini  $TX_{Accept}$  yada  $TX_{Reject}$  transferi olarak  $a_{IP}$ 'ye ve offchain olarak kullanıcıya bildirir. (Sarier, 2018)'de anonim biyometrik tanımlama sistemine ilişkin kriptografik yapı taşları detaylı olarak sunulmuştur. Özetle, homomorfik olarak şifrelenen biyometrik veri, ilgili sıfır bilgi ispatları ile birlikte yine şifreli olarak karşılaştırılarak işlem görür (processing in the encrypted domain).

Şekil 4: Zerocoin tabanlı anonim biyometrik tanıma sistemi

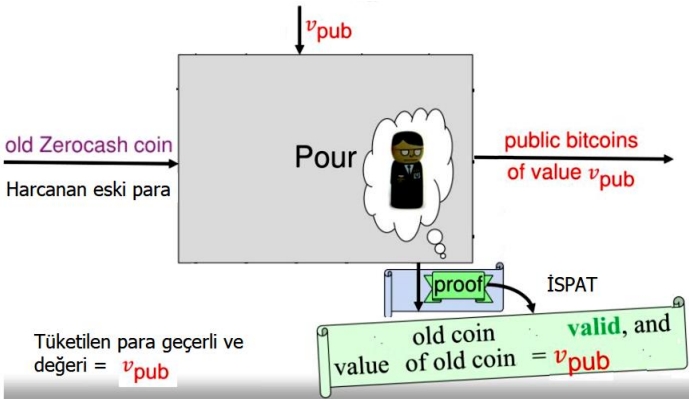
Gelen Adres	Tutar	Giden Adres	Tutar
$TX_{PUBLISH}$			
$a_{IP}$	$D + F_{PUBLISH}$	$a_{IP}$	$D$
		$OP\_RETURN(b_{USR})$	
		Fees:	$F_{PUBLISH}$
$TX_{REVOKE}$	(Sadece sistemde kayıtlı kullanıcının kaydının iptali halinde uygulanır)		
$a_{IP}$	$D + F_{REVOKE}$	$a_{IP}$	$D$
		$OP\_RETURN(b_{USR})$	
		Fees:	$F_{REVOKE}$
$TX_{Mint}$			
$a_{USR}$	$D + F_{Mint}$	$scriptPubKey(ZEROCOIN\_MINT, c_1)$	$D$
		Fees:	$F_{Mint}$
$TX_{Spend}$			
$\bar{TX}_{Mint}$	$D + F_{Spend}$	$a_{SP}$	$D$
$scriptSig(\pi_1, S_1, refBlockAcc_1)$		$OP\_RETURN(\bar{b}_{USR}, c_2)$	
		Fees:	$F_{Spend}$
$TX_{Service}$			
$a_{USR}$	$D + F_{Service}$	$a_{SP}$	$D$
		$OP\_RETURN(\pi_2, S_2, refBlockAcc_2)$	
		Fees:	$F_{Service}$
$TX_{ACCEPT}$			
$a_{SP}$	$F_{ACCEPT} + D$	$a_{IP}$	$D$
		Fees:	$F_{ACCEPT}$

Şekil 6: Basılan bir Zerocash'i harcama. Sasson et al. (2014)



-Pour (Spend) işlemi (Şekil 6): Verilen bir mint ya da pour/spend işlemi için, herhangi bir kullanıcı yeni bir pour işlemi üretebilir. Zerocoin'den farklı olarak, akümülator yerine, para taahhütleri Merkle ağacında tutulur, ve bu ağacın kökü  $rt$  olup,  $sn_1$  ve  $sn_2$  iki para seri numarası,  $cm_1$  ve  $cm_2$  iki yeni para taahhüdü, gizli girdiler üzerinde zk-SNARK kanıtı ve \* diğer gerekli bilgileri saklamak için ayrılmış alan olmak üzere, Zerocash'te bir pour/spend işlemi ( $rt$ ;  $sn_1$ ;  $sn_2$ ;  $cm_1$ ;  $cm_2$ ;  $v_{pub}$ ; info) verilerinden oluşmaktadır (Sasson et al., 2014). Bir pour işlemi defteri kebirde eklendiğinde söz konusu para kullanıcının adresi ve transfer edilen paranın miktarı açığa çıkmadan bir kullanıcıdan diğer bir kullanıcıya transfer edilir.

Şekil 7: Zerocash'den Bitcoin'e takas. Sasson et al. (2014)



Bir parayı harcarken, kullanıcı gizli olmayan açık bir  $v_{pub}$  değerini (örneğin  $D$ ) ve bir transfer dizi bilgisini  $info \in \{0, 1\}$  spesifik olarak belirterek, bu parayı bir basecoin yani Bitcoin'e çevirebilir (Sasson et al., 2014). Şekil 7'de özetlendiği üzere,  $v_{pub}$  açık değeri ile birlikte alıcı hedef adresi de açık olarak transfer dizi bilgisine eklenir. Burada, dizi bilgisi (transaction string info) Bitcoin alıcı hedef adresini (e.g., a Bitcoin cüzdan açık anahtarı/adresi) içerir (Sasson et al., 2014). Şekil 5'den de görüleceği üzere, Zerocoin'in aksine, Zerocash, Akümülator yerine Merkle Taahhüt Ağaçlarından faydalanır ve Akümülator'un gerektirdiği Çift Discrete Logarithm (Double Discrete Logarithm) ispatına gerek duymaz. Bunun yerine zk snark'ları kullanır. Esasen başka bir çalışmada (Sasson et al., 2014; Sarier, 2021), DDL ispatlarının ne kadar büyük yer tuttuğu detaylı olarak analiz edilmiştir.

Bu nedenle Şekil 4'de yer alan zerocoin tabanlı anonim biyometrik tanımlama sistemine ait transfer akışı, Zerocash

yapıtaşları yönünden Şekil 8'de güncellenmiştir. Orjinal pour işleminden farklı olarak tek bir para  $cm_1$  harcanır, ve bu para  $v_{pub}$  olarak  $SP$ 'in Bitcoin adresine Şekil 7'deki gibi takas edilir. Yine, Şekil 4'de olduğu gibi,  $SP$ 'nin kabul/red kararı basecoin olan Bitcoin üzerinden tamamlanır.

Şekil 8: Zerocash tabanlı biyometrik tanımlama uygulaması

$TX_{Mint}$	$a_{USR}$	$D + F_{Mint}$	$scriptPubKey(ZEROCASH\_MINT, cm_1)$	$D$
			Fees:	$F_{Mint}$
$TX_{Spend}$	$\overline{TX}_{Mint}$	$D + F_{Spend}$	$a_{SP}$	$D$
	$scriptSig(\pi_v, sn_1)$		$OP\_RETURN(\overline{b}_{USR}, cm_2)$	
			Fees:	$F_{Spend}$
$TX_{Service}$	$a_{USR}$	$D + F_{Service}$	$a_{SP}$	$D$
			$OP\_RETURN(\pi_z, sn_2)$	
			Fees:	$F_{Service}$

Yeni tasarlanan Zerocash ve Monero tabanlı kimlik yönetim sistemlerinde, (Sarier, 2018)' den farklı olarak  $b_{USR}$  verisi, kullanıcının şifreli biyometrik şablonu yerine, Önbilgi bölümündeki biyometrik veriye dayalı kimlik güven belgesini

$$h_{aUSR} = \prod_{j=0}^{n-1} g_j^{X_j}$$

temsil etmektedir, özetle  $h = b'$  dir.

Bu durumda, biyometrik eşleşme/tanıma uygulaması yerine kimlik yönetimi uygulaması baz alındığında, kimlik güven belgesi  $h'$  in, şifreli biyometrik şablonu  $b$ 'nin aksine sabit bir değer olması nedeniyle, Şekil 8'de yer alan  $TX_{Spend}$  transferindeki  $OP\_RETURN$  bölümü, Şekil 3 'de olduğu gibi, doğrudan kimlik güven belgesi gösterimine ilişkin ispata ait link bilgisini (proof-ref) içerir. İlgili transfer akışı Şekil 9'da sunulmuştur.

Şekil 9: Zerocash tabanlı anonim kimlik yönetimi uygulaması

$TX_{Mint}$	$a_{USR}$	$D + F_{Mint}$	$scriptPubKey(ZEROCASH\_MINT, cm_1)$	$D$
			Fees:	$F_{Mint}$
$TX_{Spend}$	$\overline{TX}_{Mint}$	$D + F_{Spend}$	$a_{SP}$	$D$
	$scriptSig(\pi_v, sn_1)$		$OP\_RETURN(\text{proof-ref}, cm_2)$	
			Fees:	$F_{Spend}$
$TX_{Service}$	$a_{USR}$	$D + F_{Service}$	$a_{SP}$	$D$
			$OP\_RETURN(\pi_z, sn_2)$	
			Fees:	$F_{Service}$

Zerocash, Zerocoin'e göre çok daha etkin, hızlı ve az yer tutan zk-snark'lara dayandığından, Şekil 8'de ve Şekil 9'da özetlenen zerocash tabanlı sistemler, zerocoin tabanlı eşdeğerlerine göre çok daha verimlidir. Ancak halen, her bir kimlik tanımlama işlemi için gerekli transfer sayısı, dolayısıyla toplam transfer tutarı azalmamıştır. Oysaki, daha az mahremiyet sağlayan blokzincir tabanlı anonim olmayan kimlik yönetimi sistemlerinde ( Şekil 3), aktörler arasında gerçekleşen transfer akışı daha sade, dolayısıyla daha az komplike ve kullanıcı açısından daha ucuzdur.

### 3.2. Zerocash yerine daha pratik bir çözüm: Monero

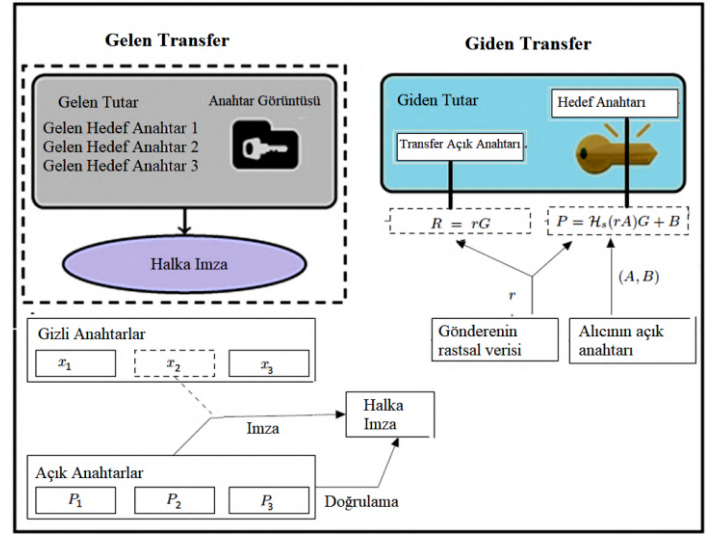
2013 yılında CryptoNote (van Saberhagen, 2013) adıyla bir teknik rapor yayınlanmıştır, yayınlanan bu raporda Bitcoin’de olmayan bazı gizlilik özelliklerini sağlayan bir sistem tanıtılmıştır. Bu sistemde, mevcut kripto paralardan farklı bir madencilik algoritması da tanıtılmıştır. Cryptonote’da önerilen sistemde transferlerde gönderici/alıcı adresleri gizlenmekte ve Bitcoin’den farklı bir emek ispatı (PoW) algoritması (CryptoNight) kullanılmaktadır. Ayrıca, Bitcoin’den farklı bir grup kullanıldığından, Önbilgi bölümünde yer alan parametreler yerine (örneğin,  $g_0, g_1, \dots, g_n, h$ ), büyük harf notasyonu kullanılacaktır (örneğin  $G$ ). Spesifik olarak örneklendirirsek, bilindiği üzere, asimetrik şifreleme sistemlerindeki bir anahtar çifti, açık (örneğin  $A = aG$ ) ve gizli (örneğin  $a$ ) olmak üzere iki anahtardan oluşur. Monero’da ise, kullanıcıların 2 tane anahtar çifti  $A = aG$ ,  $B = bG$  bulunur. Monero’da da (Noether, 2015; Yuen et al., 2020), Zerocash’de olduğu gibi gönderilen miktarın gizlenmesi, IP adreslerinin gizlenmesi gibi özellikler eklenmiş olsa da anonim biyometrik tanımlama sistemlerinde gönderilen tutar sembolik anlamda olduğundan sadece (van Saberhagen, 2013) teknik raporu ile sınırlı kalacaktır.

Özetle, Monero’da kullanıcıların 2 tane anahtar çifti  $A = aG$ ,  $B = bG$  bulunur. Bu anahtarlardan biri harcama anahtarı ( $b$ ), biri de görüntüleme anahtarıdır ( $a$ ). Bir kişiye transfer yapıldığında, kişi kendisine yapılan bu transferi görüntüleme anahtarı sayesinde tespit edebilir. Transferin kendisine yapıldığını belirledikten sonra harcama anahtarını kullanarak gönderilmiş olan parayı transfer edebilir. Bu anahtar çiftlerinin açık kısımları kullanıcı açık anahtarını, gizli kısımları da kullanıcı gizli anahtarını oluşturur. Kullanıcı gizli anahtarını oluşturan iki anahtardan biri kullanıcının kendisine yapılan transferleri tespit etme amacıyla kullandığı görüntüleme anahtarı, diğeri ise kendisine gelen transferleri harcama amacıyla kullandığı harcama anahtarıdır.

Alice, Bob’ın açık anahtarını ve kendisinin bildiği rasgele bir değeri ( $r$ ) kullanarak; tek seferlik bir transfer açık anahtarı ( $R$ ) ve Bob’a ait olduğu sadece Bob tarafından anlaşılabilir olan bir hedef anahtarı ( $P=OT$  Pubkey) oluşturur. Bu şekilde transferi kime yaptığı bilgisi gizlenmiş olur. Alice Bob’a yaptığı her transferde farklı bir rasstsal sayı ( $r'$ ) seçtiğinden, her transferde farklı bir transfer anahtarı ( $P = OT$  Pubkey) üretmiş olur.

Bob’ın kendisine bir transfer gelip gelmediğini, yayınlanan bloklardaki her bir transferi kontrol ederek anlar. Transferde bulunan transfer açık anahtarı  $R$  ve hedef anahtarı  $P=OT$  Pubkey değerlerini alır, kendi açık anahtarı ( $A;B$ ) ve görüntüleme anahtarı ( $a$ ) değerlerini de kullanarak, transferin kendisine yapıldığını tespit eder. Özetle, Bob, bir transferin kendisine gönderilip gönderilmediğini anlamak için görüntüleme anahtarını ( $a$ ) kullanır. Diğer taraftan, Bob parasını harcayabilmek için, harcama anahtarını ( $b$ ) kullanarak transfer gizli anahtarını hesaplar. Şekil 10 üzerinden gidersek, Bob kendisine gelen bir transferdeki ( $P_2$ ) parayı harcayabilmek için, harcama anahtarını ( $b$ ) kullanarak transfer gizli anahtarını ( $x_2$ ) hesaplar. Kendisine gelmiş olan parayı transfer etmek için, bu ( $x_2$ ) değerini kullanarak, gerçekleştireceği transferi Şekil 10’daki gibi halka imza ile imzalar.

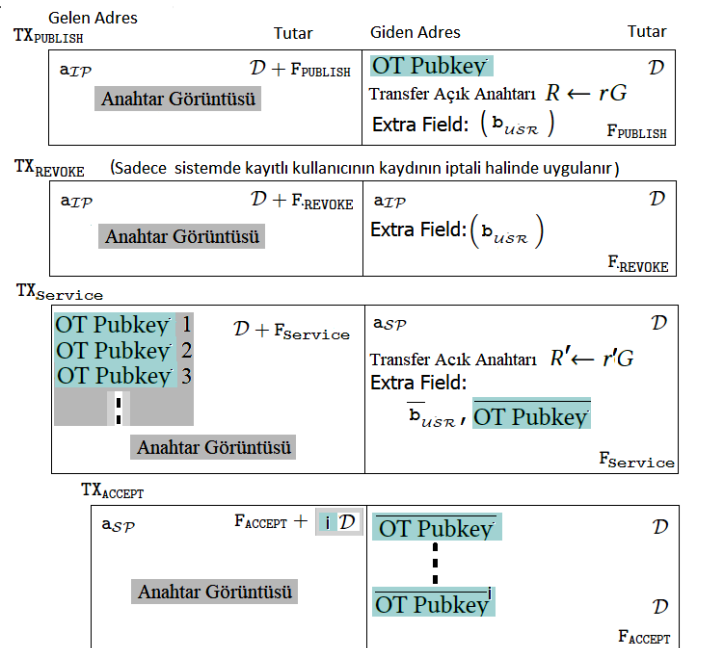
Şekil 10: Standart Cryptonote transferi: Gelen transfer bölümünde, iki mix-in kullanır (dolayısıyla üç gelen transfer),bu üç anahtarı içeren halka imza harcanan çıktıya karşılık gelen gerçek gelen adresini gizler.



Monero ile ilgili daha detaylı bilgiye (van Saberhagen, 2013) makalesinden ulaşılabilir. Monero para birimi, aşağıdaki iki özelliği sağlayarak Bitcoin’in gizlilik sorunlarını giderir.

- Bağlantısızlık: Herhangi iki işlem için aynı kişiye gönderildiğini ispat etmek imkansız olmalıdır.
- İzlenemezlik: Cryptonote’da Bob sadece belirli bir anahtarla doğrulanabilen değil; bir kümeye dahil olan herhangi bir anahtarla doğrulanabilen bir imza atar. Yani kümeye dahil olanlardan herhangi biri bu imzayı atmış olabilir. Monero’da, Bitcoin’de olduğu gibi Extra veri alanı mevcuttur. Bu nedenle Bölüm 2.5’de özetlenen sistem ile uyumludur.

Şekil 11: Monero tabanlı anonim biyometrik tanımlama sistemi



### 3.3 Monero tabanlı anonim kimlik yönetimi

**Kurulum:**  $IP$  sistem parametrelerini Monero transferleri aracılığı ile yayımlar.

**Kullanıcı kaydı:**  $USR$ ,  $IP$ 'ye kimliğini kanıtlar ve Monero adresini  $a_{USR} = (A, B)$  ve biyometrik verisini de içeren kimlik verilerini  $(X_1, \dots, X_{n-1})$  sunar.  $IP$ , kullanıcının Önbilgi bölümünde belirtilen şekilde kimlik güven belgesini içeren  $TX_{PUBLISH}$  transferini şekil 11 deki gibi yayımlar. Kullanıcı sistemden çıkmak isterse,  $IP$  kullanıcı kaydını  $TX_{REVOKE}$  transferi ile iptal eder.

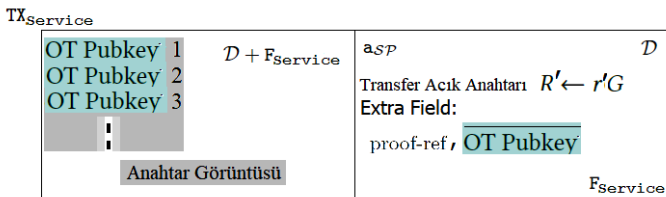
**Kimlik tanımlama:** Zerocoin ve Zerocash'in aksine, sadece iki ilave transfer işlemi ile tamamlanır:  $TX_{Service}$  ve  $SP$  nin onay kararını içeren  $TX_{Accept}$ .

1- *Servis talebi* ( $TX_{Service}$ ): Kullanıcı Şekil 12'deki  $TX_{Service}$  transferini güncel biyometrik verisi ile hazırlanmış kimlik güven belgesini transferin extra bölümüne ekleyerek servis sağlayıcı  $SP$  ye gönderilecek şekilde hazırlar. Aynı ekstra bölümüne transfer açık anahtarı  $R'$  ile hazırlanmış yeni bir hedef anahtarını ( $\bar{P} = OT \text{ Pubkey}$ ) da ekler.

2- *Servis sağlayıcının kararı*  $SP$  ( $TX_{Accept}$ ): Kullanıcının Önbilgi bölümünde yer alan güncel biyometrik verisi ile hazırlanmış kimlik güven belgesinin ait sıfır bilgi ispatlarının ayrı bir kanaldan servis sağlayıcıya ulaştırılması sonucunda doğrulanması halinde  $SP$  kabul kararını verir ve ilgili  $TX_{Accept}$  transferini kabul edilen diğer kullanıcıların  $TX_{Service}$  transferlerinin extra bölümünde girdikleri hedef anahtarlarına şekil 11 deki gibi gönderir.

Yine, biyometrik eşleşme/tanımaya uygulaması yerine kimlik yönetimi uygulaması baz alındığında, kimlik güven belgesi  $h$ 'ın şifreli biyometrik şablonun  $b$  aksine sabit bir değer olması nedeniyle şekil 11 de yer alan  $TX_{Service}$  transferindeki extra field bölümü şekil 3 de olduğu gibi doğrudan kimlik güven belgesi gösterimine ilişkin ispata ait link bilgisini (proof-ref) içerir. İlgili transfer akışı şekil 12'de sunulmuştur.

Şekil 12: Monero tabanlı anonim kimlik yönetim sistemi



### 4. Güvenlik Analizi

Esasen tasarlanan biyometrik tanımlama ve kimlik yönetim sistemleri, anonim kripto paralar üzerinden çalıştığından, güvenlikleri doğrudan ilgili kripto paranın sağladığı güvenlik nosyonlarına (Miers et al., 2013; Sasson et al., 2014; van Saberhagen, 2013) bağlıdır. Ayrıca, blokzincir üzerinde tutulan biyometrik veri/kimlik güven belgesi, homomorfik şifreleme sistemi ve sıfır bilgi ispata birlikte kullanılarak (Sarier, 2018; Brands, 2000; Augot et al., 2017b; Sarier, 2021), herhangi bir aşamada herhangi bir deşifre yapılmadan (Processing in the encrypted domain) işlem görmektedir. Bu konuda detaylı güvenlik analizleri, gerek biyometrik tanımlama (Sarier, 2018) gerekse kimlik yönetim sistemleri (Sarier, 2021; Augot et al., 2017b) üzerinden tamamlanmış olduğundan, okuyucu detaylar için ilgili yayınlardan faydalanabilir.

e-ISSN:2148-2683

### 5. Karşılaştırma

Öncelikle her üç sistem de sadece kimlik tanımlama amaçlı olarak uygulandığından, para üstü yoktur. Transfer edilen tutarlar sabit ve sembolik bir değere  $D$  eşit olduğundan, miktar yönünden takip yoluyla güvenlik açığı yoktur. Zerocoin RSA tabanlı sıfır bilgi protokolüne dayanır ve bu ispat 45 kB dan daha büyük yer tutar, ve tüm ağda yayımlanması ve tüm peerler (node) tarafından bu ispatların doğrulanması ve kalıcı olarak kütükte saklanması gerekir. Dolayısıyla Bitcoin'den çok daha fazla ağı yorar. Zerocoin'i Bitcoin'e çevirmek çift ayrık-logaritma bilgi ispatına dayanır ve 128-bit güvenlik'te 450 ms doğrulama süresi gerekir (Miers et al., 2013). Daha güncel bir çalışmada bu veriler yeniden hesaplanmış ve Spend (harcama) işlemi için 26kB ve 320ms doğrulama süresine ulaşılmıştır (Paul et al., 2019). Bitcoin'de ise aynı veriler ortalama 1kB ve 1ms olarak ölçülmüştür (Miers et al., 2013; MONERO.HOW, 2021a). Monero'nun Zerocoin'e göre daha az işlem gerektirdiği (van Saberhagen, 2013)'da gösterilmiştir. Monero transferi ortalama 2kB yer tutar, yani standard bir Bitcoin transferinden daha büyüktür. Ancak, blok bekleme süresi 1 dk, doğrulama süresi ise 2 dk'dır, bu veriler Bitcoin'in 1/5'ine eşittir (MONERO.HOW, 2021a). Monero daha verimli bir kriptoparadır ancak Zerocoin gibi sıfır bilgi protokolü içermediğinden mixin (halkadaki imza) sayısına bağlı olarak takip edilme olasılığı daha yüksektir (Kumar et al., 2017; Wijaya et al., 2018).

Ayrıca, standart bir Bitcoin transfer ücreti (fee) 360 satoshi, yani byte başına 0.000036 Bitcoin(BTC)'dir (Augot et al., 2017a). Ortalama 267 byte büyüklüğündeki bir  $TX_{PUBLISH}$  transferi (Augot et al., 2017a) için .0009612BTC  $\approx$  3.23USD masraf ödenir (8/2/2019'da, 1BTC  $\approx$  3360USD). Oysaki, Bitcoin'de 2020/2021 aralığında gerçekleşen değer artışı nedeniyle transfer ücreti  $\approx$  74.36USD'a kadar yükselmiştir (MONERO.HOW, 2021b). Yine, standart bir Bitcoin transfer ücreti (fee), Mart 2021 itibari ile transfer başına ortalama 22.13Dolar'dır (YCHARTS, 2021). Ayrıca, (MONERO.HOW, 2021b) Bitcoin ve Monero transfer ücretlerini aşağıdaki tabloda özetlendiği şekilde karşılaştırmalı olarak sunmuştur.

Tablo 1. Transfer ücret karşılaştırması (MONERO.HOW, 2021b)

	Transfer ücreti	Transfer ücreti (USD)
Monero (median)	0.000015XMR	0.0035
Bitcoin (median)	0.000291BTC	17.7614

Monero ve Zerocash karşılaştırması çeşitli yönlerden (Bit-Degree, 2021)'da ele alınmıştır. Her iki anonim kripto paranın farklı yönlerden (hız, ölçeklenme, kullanılabilirlik, transfer ücreti) birbirine üstünlük sağladığı gerçeği ışığında, Monero, hız, kullanım kolaylığı ve ölçeklenme problemlerini Zerocash'e göre daha iyi çözmekte iken, transfer ücreti Zerocash'de daha düşüktür. Ancak her iki anonim para birimi de Bitcoin'den daha hızlıdır.

Ayrıca, Zerocash (Zcash) anonim kriptoparası için ortalama transfer ücreti Mart 2021 itibari ile 0.026267USD olarak belirlenmiştir (coindesk, 2021). Yine, Zerocoin (Zcoin) anonim kriptoparası için Mart 2021 itibari ile minimum transfer ücreti 0.0000019 (0.0000113USD) 'dir (CoinLore, 2021). Burada unutulmaması gereken, Zerocoin ve Zerocash'de Mint işlemi ve Spend işlemi dışında diğer işlemler Basecoin olan Bitcoin üzerinde gerçekleşir. Yine Mint işlemi Bitcoin'den Zerocoin/Zerocash'e geçiş, Spend işlemi ise tam ters yöne geçiş sağlamaktadır. Bu nedenle her bir servis talebi için gerekli

toplam kullanıcı maliyeti hesaplandığında Zerocoin ve Zerocash tabanlı sistemlerde Basecoin olan Bitcoin transfer ücreti de dikkate alınmalıdır.

Tablo 2. Kimlik Yönetiminde herbir servis talebine ait Transfer ücreti

	Transfer ücreti	Transfer ücreti (USD)
Monero (XMR)	0.000015XMR	0.0035
Zerocash (ZEC)	0.00029BTC+ZEC	17.76+0.02626
Zerocoin (Zcoin)	0.00029BTC+Zcoin	17.76+0.000011

## 6. Sonuç

Karşılaştırma bölümünde analiz edilen her üç anonim para birimi açısından, toplam maliyet, güven belgesinin her bir gösterimi için gerekli toplam transfer adedi, Bitcoin fork'u olması nedeniyle Zerocoin ve Zerocash transferlerine ilaveten Bitcoin transferi nedeniyle oluşan ilave maliyet, kullanım kolaylığı, hız ve ölçeklenme yönleri hep birlikte ele alındığında, Monero'nun Bitcoin forku olmaması ve daha az transfer adedi gerektirmesi nedeniyle Zerocoin ve Zerocash'e göre kullanıcı açısından daha verimli, hızlı, kullanılabilir ve ucuz bir kimlik yönetim sistemi sağladığı açıktır. Gelecek çalışmalarda, Monero'nun, RingCT (Noether, 2015; Yuen et al., 2020) entegrasyonu ile iyileştirilen anonimlik özellikleri de dikkate alınarak, Zerocash'e göre belirgin güvenlik zaafiyetlerinin ortadan kalkması ile kimlik yönetim sistemlerinde kullanılmasını gerek teorik gerekse pratik uygulama yönleriyle ele alınabilir.

## 7. Teşekkür

Yazar, başta EJOSAT dergi editörleri ve EJOSAT dergi sekreteri olmak üzere, tüm hakemlere değerli yorumları ve katkıları için teşekkürlerini sunar.

## Kaynakça

Augot, D., Chabanne, H., Chenevier, T., George, W., and Lambert, L. (2017a). A user-centric system for verified identities on the bitcoin blockchain. In CBT'17, volume 10436 of LNCS, pages 390–407. Springer.

Augot, D., Chabanne, H., Clénot, O., and George, W. (2017b). Transforming face-to-face identity proofing into anonymous digital identity using the bitcoin blockchain. In PST'17, pages 25–2509. IEEE.

Augot, D., Chabanne, H., and George, W. (2019). Practical solutions to save bitcoins applied to an identity system proposal. In ICISSP'19, pages 511–518. SciTePress.

BCTR (Retrieved on March, 2021). Blockchain tabanlı biyometrik doğrulama sistemi. <https://bctr.org/blockchaintabanli-biyometrik-dogrulama-sistemi-4624/>.

Bernabe, J. B., Canovas, J. L., Hernandez-Ramos, J. L., Torres Moreno, R., and Skarmeta, A. (2019). Privacy-preserving solutions for blockchain: Review and challenges. IEEE Access, 7:164908–164940.

BitDegree (Retrieved on March, 2021). Zcash vs monero – the complete guide. <https://www.bitdegree.org/crypto/tutorials/zbash-vs-monero>.

Blanton, M. and Hudelson, W. M. P. (2009). Biometricbased non-transferable anonymous credentials. In ICICS'09, volume 5927 of LNCS, pages 165–180. Springer.

Brands, S. A. (2000). Rethinking Public Key Infrastructures and Digital Certificates: Building in Privacy. MIT Press.

BZLab (Retrieved on March, 2021). Blokzincir. <http://blockchain.bilgem.tubitak.gov.tr/>.

coindesk (Retrieved on March, 2021). Zcash zec average transaction fee (24h). <https://www.coindesk.com/price/zbash>.

CoinLore (Retrieved on March, 2021). Coinlore koinler/zcoin blockchain stats. <https://www.coinlore.com/tr/coin/zcoin>.

CryptID (Retrieved on May, 2018). source code available at <https://github.com/cryptid/cryptid>. <http://cryptid.xyz/>.

Dodis, Y., Reyzin, L., and Smith, A. (2004). Fuzzy extractors: How to generate strong keys from biometrics and other noisy data. In EUROCRYPT'04, volume 3027 of LNCS, pages 523–540. Springer.

Kumar, A., Fischer, C., Tople, S., and Saxena, P. (2017). A traceability analysis of monero's blockchain. In ESORICS'17, volume 10493 of LNCS, pages 153–173. Springer.

Lesavre, L., Varin, P., Mell, P., Davidson, M., and Shook, J. (Accessed on: August, 2019). A Taxonomic Approach to Understanding Emerging Blockchain Identity Management Systems. <https://doi.org/10.6028/NIST.CSWP.07092019-draft>.

Liu, Y., Sun, G., and Schuckers, S. (2019). Enabling secure and privacy preserving identity management via smart contract. In CNS'19, pages 1–8.

Miers, I., Garman, C., Green, M., and Rubin, A. D. (2013). Zerocoin: Anonymous distributed e-cash from bitcoin. In SP'13, pages 397–411. IEEE.

MONERO.HOW (Retrieved on March, 2021a). How long do monero transactions take? <https://www.monero.how/howlong-do-monero-transactions-take>.

MONERO.HOW (Retrieved on March, 2021b). How much are monero transaction fees? <https://www.monero.how/monero-transaction-fees>.

Nakamoto, S. (2008). Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system.

Noether, S. (2015). Ring signature confidential transactions for monero. Cryptology ePrint Archive, Report 2015/1098.

Othman, A. and Callahan, J. (2018). The Horcrux Protocol: A Method for Decentralized Biometric-based Self-sovereign Identity. In IJCNN'18, pages 1–7.

Paul, J., Xu, Q., Fei, S., Veeravalli, B., and Aung, K. (2019). Practically realisable anonymisation of bitcoin transactions with improved efficiency of the zerocoin protocol. In FICC'18, pages 108–130. Springer.

Ruffing, T., Thyagarajan, S. A. K., Ronge, V., and Schröder, D. (2018). Burning zerocoins for fun and for profit – A cryptographic denial-of-spending attack on the zerocoin protocol. In CVCBT'18, pages 116–119. IEEE.

Sarier, N. D. (2018). Privacy preserving biometric identification on the bitcoin blockchain. In CSS'18, volume 11161 of LNCS, pages 254–269. Springer.

Sarier, N. D. (2021). Comments on biometric-based non-transferable credentials and their application in blockchain based identity management. Computers & Security, 105:102243.

Sasson, E. B., Chiesa, A., Garman, C., Green, M., Miers, I., Tromer, E., and Virza, M. (2014). Zerocash: Decentralized anonymous payments from bitcoin. In 2014 IEEE Symposium on Security and Privacy, pages 459–474.



- Toutara, F. and Spathoulas, G. (2020). A distributed biometric authentication scheme based on blockchain. In 2020 IEEE International Conference on Blockchain, pages 470–475. IEEE.
- van Saberhagen, N. (2013). Cryptonote v 2.0. Available at <https://cryptonote.org/whitepaper.pdf>.
- Wijaya, D. A., Liu, J. K., Steinfeld, R., Liu, D., and Yuen, T. H. (2018). Anonymity reduction attacks to monero. In Inscrypt'18, volume 11449 of LNCS, pages 86–100. Springer.
- YCHARTS (Retrieved on March, 2021). Bitcoin average transaction fee. Available at [https://ycharts.com/indicators/bitcoin\\_average\\_transaction\\_fee](https://ycharts.com/indicators/bitcoin_average_transaction_fee).
- Yuen, T. H., Sun, S., Liu, J. K., Au, M. H., Esgin, M. F., Zhang, Q., and Gu, D. (2020). RingCT 3.0 for blockchain confidential transaction: Shorter size and stronger security. In FC'20, volume 12059 of LNCS, pages 464–483. Springer.
- Zhou, X., Hafedh, Y., Wang, Y., and Jesus, V. (2018). A simple auditable fingerprint authentication scheme using smart contracts. In SmartBlock'18, volume 11373 of LNCS, pages 86–92. Springer.
- Zhu, X. and Badr, Y. (2018). Identity management systems for the internet of things: A survey towards blockchain solutions. *Sensors*, 18(12):4215.



# **Bir Demir Yatağında Radyal Temelli Fonksiyon ve Ortalamasız Krigleme Kestirimlerinin Karşılaştırılması**

Fırat Atalay<sup>1\*</sup>, M. Suphi Ünal<sup>2</sup>, S. Yasin Kılıoğlu<sup>3</sup>

<sup>1\*</sup> Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-6349-7745), [atalay@hacettepe.edu.tr](mailto:atalay@hacettepe.edu.tr)

<sup>2</sup> Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-9993-8300), [msunal@hacettepe.edu.tr](mailto:msunal@hacettepe.edu.tr)

<sup>3</sup> Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-2227-9834), [syasin@hacettepe.edu.tr](mailto:syasin@hacettepe.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 11 Nisan 2021 ve Kabul Tarihi 28 Ağustos 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.913286)

**ATIF/REFERENCE:** Atalay, F., Ünal, M. S., Kılıoğlu, S. Y. (2021). Bir Demir Yatağında Radyal Temelli Fonksiyon ve Ortalamasız Krigleme Kestirimlerinin Karşılaştırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (27), 303-310.

## **Öz**

Yakın geçmişte maden kaynaklarının kestirimi için ters uzaklık, en yakın komşu gibi yöntemler kullanılmakla birlikte, son dönemde maden yataklarının kestiriminde genellikle krigleme yöntemi kullanılmaktadır. Günümüzde kaynak kestiriminde kriglemeye alternatif yöntemler de gelişmektedir. Gelişmekte olan yöntemlerden birisi de Radyal Temelli Fonksiyon (RTF) ile kestirimdir. RTF gerçel değer alan bir  $\phi$ 'nin değerinin bir girdi ve sabit noktaya göre değerinin radyal çekirdek değerine eşit olduğu fonksiyonlar olarak tanımlanırlar. Bu fonksiyonlar kullanılarak interpolasyon yapılabilir. RTF'ler ile interpolasyon birçok alanda kullanılmakla birlikte madencilikte henüz yaygın olarak kullanılmamaktadır. Ayrıca maden yatakları ile ilgili yapılan çalışmalarda ya RTF tek başına kullanılmış ya da RTF'nin özelleşmiş formları, krigleme ile karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada, bir demir yatağında RTF kestirimleri ile krigleme kestirimleri karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma amacı ile yataktaki demir tenörünün dağılımı öncelikle krigleme ile kestirilmiştir. Bu amaçla, variogramlar hesaplanmış ve bloklar üzerinden kestirimler yapılmıştır. Sonrasında ise RTF ile kestirim yapılmıştır. Kestirimde çekirdek fonksiyon olarak Gauss fonksiyonu tercih edilmiş ve fonksiyon  $\alpha$  parametresi olarak 2,6 değeri kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar kestirimlerin özet istatistikleri, görsel ve trend analizleri yapılarak karşılaştırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Krigleme, Radyal temelli fonksiyon, Demir cevheri.

## **Comparison of Radial Basis Function and Ordinary Kriging Estimations in an Iron Ore Deposit**

### **Abstract**

While in the near past nearest neighbor and inverse distance methods have been used in mineral resource estimation, recently kriging became the dominant method. These days, new mineral resource estimation techniques are developed as alternatives to kriging. One of the alternative techniques developed is Radial Basis Functions (RBF). RBF can be defined as a real-valued function with the value of  $\phi$  is used as input and this value is equal to radial kernel value. Interpolation can be performed by using these functions. While the use of the radial basis function is widely applied in many diverse areas, its usage in the mining industry is limited. Additionally, in the studies on mineral resources, RBF were either used solely or compared with kriging in a specialized form. In this study, estimations with RBF and kriging are compared in an iron ore deposit. For comparison, firstly, ore grade estimations are performed with kriging. For this purpose, variograms are calculated and block estimations are performed. Later, estimations are performed by using RBF. Gaussian kernel function is used for estimations and  $\alpha$  value is selected as 2.6. Finally, summary statistics of the results were compared in terms of visual and trend analyses.

**Keywords:** Kriging, Radial basis function, Iron ore.

\* Sorumlu Yazar: [atalay@hacettepe.edu.tr](mailto:atalay@hacettepe.edu.tr)

## 1. Giriş

Maden kaynakları toplumlar için vazgeçilmez unsurlardır. Her maden potansiyelinin maden kaynağına dönüşmesi ise mümkün değildir. Bir maden potansiyelinin maden kaynağına dönüşmesi için öncelikle güncel ekonomik ve teknik koşullar altında karlı bir şekilde üretilmesi gerekir. Maden kaynaklarının karlılığının belirlenmesinde en önemli unsurlardan birisi ise kalite değişkeni değerleridir. Birçok cevherde kalite değişkeni tenör olarak adlandırılır ve bir cevherleşmede ekonomik değer teşkil eden cevher miktarının toplam kütledeki oranı olarak tanımlanabilir. Maden kaynaklarında konumsal olarak tenör/kalite değişkeni sabit olmayıp konuma bağlı olarak değişiklik gösterir. Tenörün konumsal dağılımının belirlenmesi ilgili maden yatağının ekonomik olup olmasının kararının verilmesinde en önemli unsurdur. Bir maden kaynağında tenör dağılımının belirlenmesi ekonomikle ek olarak maden üretim yönteminin belirlenmesinde de önemli bir rol oynar. Örneğin bazı durumlarda cevherleşmenin yeryüzüne yakın olması durumunda açık ocak ile üretim yapılabilir. Bu gibi durumlarda ekonomik sebepler ile maden kaynağı işletilmeye tenörün en yüksek olduğu kısımdan başlanabilir. Bu gibi sebepler yüzünden yer bilimlerinde tenör dağılımının ortaya konulması geniş ve önemli bir yer tutmaktadır.

Maden kaynaklarında tenör dağılımının belirlenebilmesi için genellikle sahada sondajlar yapılır. Sondaj işlemi zahmetli, zaman alan ve görece pahalı bir süreçtir. Maden kaynağındaki tenör yayılımını bulmak için yapılan bu sondajlar sonucunda kaynaktan toplanan örnekler ile ilgili maden kaynağının kütlesi arasındaki oran yaklaşık olarak milyarda birdir (Rossi ve Deutsch, 2013). Görüldüğü gibi maden kaynağının tenör yayılımını ortaya koymak için son derece kısıtlı miktarda veri toplanmaktadır. Bu sebeple kısıtlı veriye dayanarak konumsal tenör değişkenliğinin tahmin edilebilmesi için birçok yöntem geliştirilmiştir (Tutmez vd., 2009). Bu yöntemlerden en sık kullanılanları en yakın komşu, ters uzaklık ve krigleme yöntemleridir. Bu yöntemlerden en yakın komşu yöntemi, ilgili maden bloğunun kalite değişkeni değerinin en yakın veriye eşit olduğunu kabul eder. Ters uzaklık yönteminde ise verilerin kestirimi, işlemin yapılacağı blok üzerindeki verilerin ağırlığının uzaklığın tersi ile ilişkili olduğu varsayımına dayanır ve ağırlıklar buna göre belirlenir. Krigleme ise, variogram modelleme ve kestirim adımları olmak üzere iki adımdan oluşan bir kestirim yöntemidir. İlk adımda uzaklığa bağlı ilişki deneysel variogram değerlerinden yararlanılarak variogram modelleri uyarlanır. İkinci adımda ise uyarlanan bu variogram modelleri kullanılarak kestirim yapılır. Birçok maden kaynağındaki kalite değişimi bu yöntemler kullanılarak yapılmıştır. Örneğin kömür yataklarında krigleme yöntemi oldukça sık bir şekilde kullanılmaktadır (Afzal, 2018; Dag ve Ozdemir, 2013; Gül ve Küçükkarasu, 2020; Hatton ve Fardell, 2012; Jeuken vd., 2020; Marwanza vd., 2019; Nielsen vd., 2019; Siddiqui vd., 2015; Tercan ve Karayigit, 2001; Whateley vd., 1997; Zhang vd., 2013). Krigleme kömür yataklarına ek olarak birçok altın, demir, bakır, kobalt, nikel yataklarında ve bazı sedimanter yataklarda da sıkça kullanılan bir yöntemdir (Afzal, 2018; Bargawa vd., 2020; Cornell ve Schwertmann, 2003; De-Vitry vd., 2007; Elevli vd., 2018; Gusman vd., 2019; Santos ve Yamamoto, 2019; Wadi ve Ivanik, 2019; J. Wang vd., 2018; Zerkour vd., 2021; Zhang vd., 2021). Ayrıca bazı çalışmalarda ise hem krigleme hem de ters uzaklık yöntemlerinin bir arada kullanıldığı görülebilmektedir (Afzal, 2018; Shahbeik vd., 2014; S. Wang vd., 2017).

Yukarıdaki örneklerden de görüldüğü gibi bu yöntemler arasında en sık kullanılan yöntem kriglemedir. Krigleme yöntemi, kestirim için gerekli olan denklemlerin hata varyanslarının en düşük olacağı şekilde oluşturulması ve yansızlık koşulunun sağlanması sonucunda (yönünden) güçlü bir yöntemdir (Yünsel, 2007). Ancak krigleme durağanlık varsayımına dayandığından tenörün yöne bağlı sürekli artış ya da azalış içinde bulunmasını varsaymaktadır (Yünsel, 2019). Bu sebepten öncelikle durağanlık varsayımı test edilmelidir. Sonrasında ise tenör değişkenliğinin yöne bağlı değişkenliğinin ortaya koyulabilmesi için farklı yönlerde variogramların hesaplanması ve bu deneysel variogramlara model variogramlar uyarlanması gerekir. Variogram uyarlama işlemi zahmetli ve tecrübeye dayalı bir işlemdir. Ayrıca bazı durumlarda variogramın hesaplanması mümkün olmamaktadır (Bargawa ve Tobing, 2020). Bu sebepten variogram uyarlaması görecelidir ve konu hakkında uzman kişilere ihtiyaç duyulur. Ters uzaklık yönteminde ise tenör değerlerinin uzaklığın tersi ile ikinci ya da üçüncü dereceden ilişkili olduğu düşünülerek kestirimler yapılır. Ancak ilişkinin derecesinin belirlenmesi çoğu zaman keyfi olarak yapılır ve dayanağı yoktur. Bazı durumlarda, özellikle cevher yatağı sınırlarında, elde edilen kestirim değerleri doğada bulunamayacak kadar keskin değişiklikler gösterebilir. En yakın komşu kestiriminde ise kestirim değeri en yakın sondaj değeri olarak belirlendiğinden kestirim sonuçları çoğu zaman gerçekçi değildir.

Görüldüğü gibi sıkça kullanılan tenör kestirim yöntemlerinin bazı dezavantajları olması sebebi ile mevcut yöntemlere alternatif yöntemler de geliştirilmektedir. Geliştirilmekte olan yöntemlerden birisi de Radyal temelli fonksiyon (RTF) yöntemidir (Wright, 2003). Adından da anlaşılacağı gibi RTF ile kestirimde Radyal temelli fonksiyonlar kullanılır. Diğer yöntemlerde olduğu gibi mevcut veriler kullanılarak tenör dağılımı kestirilir. Kriglemede olduğu gibi konumsal ilişkiyi ölçen variogram gibi bir ek fonksiyonun hesaplanmasına ve tahmin edilmesine ihtiyaç duyulmamaktadır. RTF kullanılarak maden kaynak kestiriminin yapıldığı çalışmalar da mevcuttur (Samanta, 2010; Santos ve Yamamoto, 2019; Wang vd., 2018). Bu çalışmalarda RTF kullanılarak cevher tenör dağılımları ve cevher sürekliliği kestirilmiştir. RTF'lerin doğrudan kestirimde kullanıldığı çalışmalar görece yeni ve kısıtlıdır. Bu sebepten RTF'lerin kullanılarak kaynak kestiriminin yapıldığı yeni çalışmalara ihtiyaç vardır. Bu çalışmanın amacı RTF ile Krigleme yöntemlerinin bir demir yatağında tenör kestirimleri yapılarak kıyaslanmasıdır. Bu amaçla öncelikle demir yatağındaki demir cevherinin yayılımı modellenmiş ve katı model oluşturulmuştur. Daha sonrasında sadece katı model içerisinde kalan veriler kompozitlenmiş ve bu kompozitler üzerinden variogramlar hesaplanmıştır. Hesaplanan variogramlar kullanılarak model variogram uyarlanmış ve krigleme ile kestirim yapılmıştır. Daha sonrasında ise kestirimler RTF ile tekrarlanmıştır. Kestirim için Gauss çekirdek fonksiyonu kullanılmıştır. Sonuçlar kestirimlerin özet istatistikleri, görsel ve trend analizleri yapılarak karşılaştırılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Ortalamasız Krigleme

Krigleme yöntemi, ölçümü yapılan konumlardaki değişkenlerden yola çıkarak ölçümü yapılmamış konumlardaki değişkenin değerini kestiren bir yöntemdir. Kriglemede kestirimler en iyi doğrusal yansız kestirim koşullarını yerine getirecek şekilde yapılır. Krigleme işlemi için öncelikle deneysel

variogramın hesaplanması gerekir (Journel ve Huijbregts, 1978) (Denklem 1).

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^n (x_i - x_{i+h})^2 \quad (1)$$

Burada;  $\gamma(h)$  deneysel variogram değerini,  $N(h)$  variogram hesabında kullanılan çift sayısını,  $x_i$  ve  $x_{(i+h)}$  ise sırası ile  $i$  konumundaki ve  $i+h$  konumundaki ölçüm değerlerini ifade eder.

Denklem 1’de görüldüğü gibi deneysel variogramlar belirli ve sonlu sayıdaki uzaklıklar üzerinden hesaplanır (Yaylagul ve Tutmez, 2020). Tüm uzaklıklardaki variogram değerlerine ise deneysel variogramlar kullanılarak model variogramın uyarlanması ile ulaşılır. Madencilikte en sık kullanılan yuvalı yapıya sahip Gauss variogram modeli Denklem 2’de gösterilmiştir.

$$\gamma(h) = C_o + C * \left[ \frac{3h}{2a} - \frac{1}{2} \left( \frac{h}{a} \right)^3 \right] \quad (2)$$

Burada;  $C_o$  külçe etki değerini,  $C$  variogram modeline ait eşik değeri,  $a$  yapısal uzaklığı ve  $h$  ise uzaklığı ifade etmektedir.

Variogram modelinin de uyarlanması ile krigleme için gerekli olan tüm uzaklıklardaki variogram değerlerine ulaşılmış olur. Krigleme ile kestirimde her bir değer kestirim noktasındaki ağırlığı Denklem 3’te olduğu gibi hesaplanabilir (Matheron, 1963; Tercan ve Karayigit, 2001).

$$z(x_o) = \sum_{i=1}^n \lambda_i * z(x_i) \quad (3)$$

Denklem 3’te;  $z(x_o)$  kestirilmek istenen noktayı,  $\lambda_i$  kestirimde kullanılacak olan ölçüm değerinin ağırlığını ve  $z(x_i)$  ise kestirimde kullanılacak ölçüm değerini belirtir. Burada kestirim ağırlıkları olan  $\lambda_i$  değerinin belirlenmesi en önemli noktadır ve krigleme yönteminde ağırlıklar aşağıdaki denkleme göre hesaplanır (Denklem 4).

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n \lambda_i * z(x_i) + \mu = \gamma(x_i, x_o) \\ \sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \end{cases} \quad (4)$$

Burada;  $\mu$  lagrange çarpanını,  $\gamma(x_i, x_o)$  ise kestirilecek nokta ile kestirimde kullanılacak ölçüm arasındaki variogram değerini ifade eder. Denklem 4’te görüldüğü gibi kestirimde kullanılan ağırlıkların toplamı 1’e denk gelmektedir. Bu kriglemenin yansızlık koşulunun sağlanmasına neden olur.

## 2.2. Radyal Temelli Fonksiyon

Bu çalışmada, radyal temelli fonksiyon olarak adlandırılacak olan ve İngilizcesi “radial basis function” olan fonksiyon, bilinmeyen bir fonksiyonun bilinen verilerden yola çıkarak tahmin edilmesine yarar. “Radial basis function” dilimize radyal temelli fonksiyon ve yarıçapsal temelli fonksiyon olarak da çevrilmiştir. RTF gerçek bir değer alan  $\alpha$ ’nın değeri olan  $\alpha(x)$ ’in sabit bir nokta ile girdi noktası arasındaki uzaklığa bağlı olan bir fonksiyonuna eşit olması yani diğer bir ifadeyle  $\alpha(x)$  olmasıdır. Bu eşitliği sağlayan tüm fonksiyonlar radyal fonksiyon olarak adlandırılır. Radyal temelli fonksiyonlar  $\alpha: [0, \infty) \rightarrow \mathbb{R}$  aralığında

tanımlıdır. Metrik vektör uzayında bir fonksiyon  $\alpha(c) = \alpha(x-c)$   $c$  noktasında merkezi olan bir radyal çekirdek olarak adlandırılır. Bu radyal fonksiyon ve ilişkili radyal çekirdeklerin bir arada kullanılması ile RTF’lere ulaştırılır.

Radyal temelli fonksiyonlarda sıklıkla kullanılanlar Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. RTF’ler

Radyal temelli Fonksiyon	İşlemci
Gauss	$e^{-(cr)^2}$
Polyharmonic Spline	$R^{2k-1}$
Multiquadrics	$\sqrt{r^2 + c^2}$
Ters Multiquadrics	$\frac{1}{\sqrt{r^2 + c^2}}$
Ters Quadratic	$\frac{1}{r^2 + c^2}$

Tablo 1’de  $c$ ,  $k$ ,  $R$  değerleri fonksiyonların aldığı değerleri ve davranışlarını belirleyen parametrelerdir.

## 2.3. Radyal Temelli Fonksiyon ve Kestirim

Kriglemeye benzer şekilde radyal temelli fonksiyon ile kestirim de denklem 3’te olduğu gibi kestirimde kullanılan veriler ağırlıkların atanmasına dayanır. Tek değişen kestirim değerleri olan  $z(x_i)$  yerine çekirdek fonksiyon olan  $\phi(\| \cdot \|)$  işlemcisinin kullanılması ve  $f$  interpolantına eşitlenmesidir (Denklem 5).

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i * \phi(\|x_i - x_o\|) = f \quad (5)$$

Bu durumda oluşacak olan matris denklemi aşağıda verilmiştir (Wright, 2003).

$$\begin{bmatrix} \phi(\|x_1 - x_1\|) & \phi(\|x_2 - x_1\|) & \dots & \phi(\|x_n - x_1\|) \\ \phi(\|x_1 - x_2\|) & \phi(\|x_2 - x_2\|) & \dots & \phi(\|x_n - x_2\|) \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \phi(\|x_1 - x_n\|) & \phi(\|x_2 - x_n\|) & \dots & \phi(\|x_n - x_n\|) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \vdots \\ \lambda_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f(x_1) \\ f(x_2) \\ \vdots \\ f(x_n) \end{bmatrix} \quad (6)$$

Denklem 6’da  $\phi$  kestirimde kullanılacak olan tüm değerlerin uzaklıklarının kullanılan çekirdek fonksiyondaki değerini,  $f(x)$  ise fonksiyonun ilgili uzaklıktaki aldığı değeri ifade eder. Buna göre matris denkleminin tüm  $\lambda$ ’lar yani kestirimde kullanılacak olan tüm ağırlıklar için çözülmesi ile denklem 7’de olduğu gibi kestirim işlemi gerçekleştirilir.

$$z(x_o) = \sum_{i=1}^n \lambda_i * z(x_i) \quad (7)$$

Görüldüğü gibi kriglemede ağırlıkların atanmasında variogram fonksiyonu kullanılırken, radyal temelli fonksiyon ile kestirimde ise variogramın yerini radyal temelli fonksiyon almıştır.

Radyal temelli fonksiyonların kestirim aralığı teorik olarak ( $-\infty$  ve  $+\infty$ ) aralığındadır (Skala vd., 2020).

Maden kaynakları teorik olarak (0,  $+\infty$ ) aralığında değerler alır. Bilindiği gibi radyal temelli fonksiyonlar ile kestirim negatif değerlerde alabileceğinden maden kaynaklarının kestiriminde doğrudan kullanılmaları durumunda pozitif tanımlılığı garanti etmezler (Myers, 1992). Ayrıca her ne kadar maden kaynakları teorik olarak sonsuz değerler alabilse de pratikte bu durum her zaman geçerli olmayabilir. Çoğu maden varlığı yüzde cinsinden ölçülür ve bu sebepten [0,100] aralığında değer alırlar. Bu sebeplerden dolayı RTFlerin maden yatak kestiriminde kullanılması amacıyla teorik ve pratik arasındaki uyumsuzluğun giderilebilmesi için koşullandırma yapılmasına ihtiyaç vardır.

#### 2.4. Koşullandırılmış Radyal Temelli Fonksiyon

RTF ile kestirim maden kaynaklarının sonuçlarından beklenen pozitif tanımlılık ve sonuçlarının istenen aralıklarda olması koşullarını garanti etmediğinden “koşullandırılmış radyal temelli fonksiyonlar ile kestirim” yaklaşımı geliştirilmiştir. Bu yaklaşımın klasik yöntemden temel olarak iki farklılığı vardır. İlk farklılık, kestirimde tüm veriler yerine kestirim noktasına komşuluk eden belirli sayıda en yakın noktalar kullanılır. Böylece bu koşullandırma ile kestirim sonuçlarının daha tutarlı olması sağlanmıştır. Yöntemin adındaki koşullandırma kelimesi bu adımdan gelir. Bu adım da istenen sonuçlara ulaşılmasını garanti etmez. Koşullandırma işleminden sonra hedef nokta için kestirim işlemi gerçekleştirilir ve kestirim değerinin istenen aralıklarda olup olmadığına bakılır. Kestirimin istenen aralıkta olmaması durumunda çekirdek fonksiyondaki ilgili parametre olan  $\alpha$  parametresi [0,  $+\infty$ ) aralığında olmak üzere ve sıfırdan başlamak koşulu ile yeni bir kestirim işlemi gerçekleştirilir. Bu işlemin sonucu da yeniden koşulu sağlayıp sağlamadığı üzerine test edilir. Eğer sağlamıyorsa  $\alpha$  parametresi artırılarak testlere devam edilir. Kestirim sonucunun istenen aralıkta çıkması durumunda elde edilen değer kestirim sonucu olarak kabul edilir. Koşullandırılmış radyal temelli fonksiyon ile kestirimin adımları Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Koşullandırılmış radyal temelli fonksiyon ile kestirim adımları

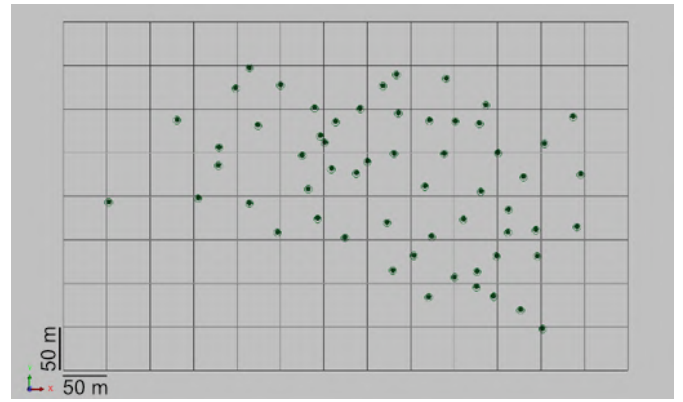
Adım	İşlem
1	Kestirim için radyal çekirdek fonksiyonunun ve ilgili parametrelerin belirlenmesi
2	Kestirim aralığı [ $a_1$ , $a_2$ ] belirlenmesi
3	Kestirilecek olan maden bloğunun orta noktası dikkate alınarak bu bloğa komşu olan verilerin bulunması
4	Kestirim değerinin Denklem 7 kullanılarak belirlenmesi
5	Kestirim değerinin [ $a_1$ , $a_2$ ] dışında olması durumunda 1. Adıma geri dönülerek çekirdek fonksiyondaki parametrenin değiştirilmesi. Bu adım kestirim değeri [ $a_1$ , $a_2$ ] aralığında çıkana kadar devam ettirilir.

### 3. Demir Yatağının Kestirimi

Kestirim yöntemlerinin kıyaslanması amacı ile Türkiye’deki bir demir yatağı kullanılmıştır. Bu demir yatağında demir cevheri yoğunlukla manyetit ve hematit olup, Fe değerleri ise yüzde (%) cinsindedir. Sahadaki cevherleşme metamorfite ait şist, e-ISSN: 2148-2683

kalkıştı ve mermerleri kesen siyenit porfirlerin oluşturduğu kontakt zonlarda ve şistlerin geçirgen olmaması nedeniyle özellikle mermerler içinde gelişmiştir. Cevherleşme kuşağı Doğu-Batı doğrultusunda ve 900 metre uzunluğundadır. Damar tipi cevherleşmelerin kalınlıkları 1-2 metre, skarn tipinde ise 2-4 metre arasında değişir. Skarn tipi cevherleşmede cevherleşmenin şekli yığın, mercekk şeklindedir. Sahada cevher minerali olarak çokluk sırasına göre manyetit, hematit, limonit ile pirit, pirotin ve kalkopirit tespit edilmiştir. Oksidasyon minerali olarak bakırlı zonlarda malahit ve azurit görülür. Gang minerali olarak silis, epidot ve kalsit izlenir.

Sahada toplam 58 adet sondaj yapılmış olup sondajların tamamı yüzeye diktir. Toplam sondaj uzunluğu 13 463 m’dir. Bu sondajların en kısası 74 m iken en uzun sondaj 371m derine kadar inmektedir. Sondajların ortalama derinliği ise yaklaşık olarak 232 m’dir. Sondajlar yaklaşık olarak 9000 m<sup>2</sup>’lik bir alana yayılmakla birlikte sondajlar arası ortalama mesafe 30 m’dir. Sondajların yayılımı Şekil 1’de gösterilmiştir.



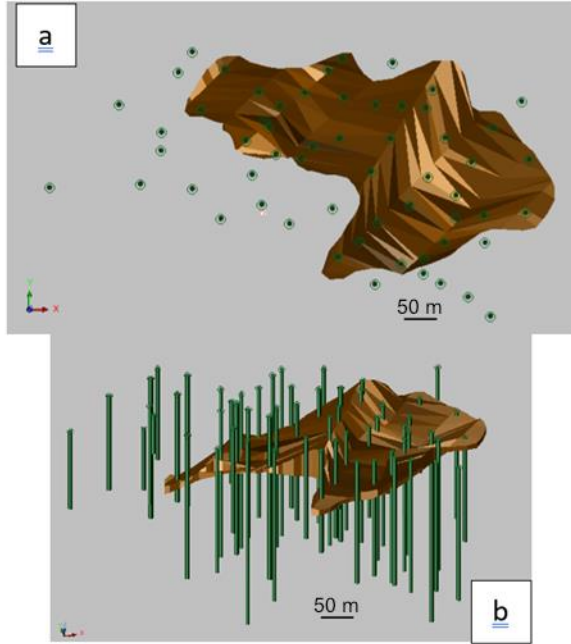
Şekil 1. Sondajların plan görüntüsü

Sondajlarda tüm birimler için Fe ölçümleri yapılmış olup bu ölçümlerden cevherleşmenin yaygın olduğu kısımlardaki özet istatistikler Tablo 3’te verilmiştir.

Tablo 3. Fe analizleri özet istatistikleri

Veri sayısı	En düşük	Ortalama	Ortanca	En yüksek	Standart Sapma
777	1,34	32,28	33,7	60,7	12,21

Tablo 3’te görüldüğü gibi oldukça düşük değerler mevcut olup bu durum sahada tüm alanın cevher yönünden zengin olmadığını gösterir. Bu sebepten yatakta maden kaynak kestirimine uygun ve cevherleşmenin yüksek olduğu alanın belirlenmesi gerekir. Cevher yayılımını belirlemek için sahada çeşitli yönlerden kesitler alınmıştır. Alınan bu kesitler birleştirilerek 3 boyutlu cevher yatağı modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan model Şekil 2’de gösterilmiştir.

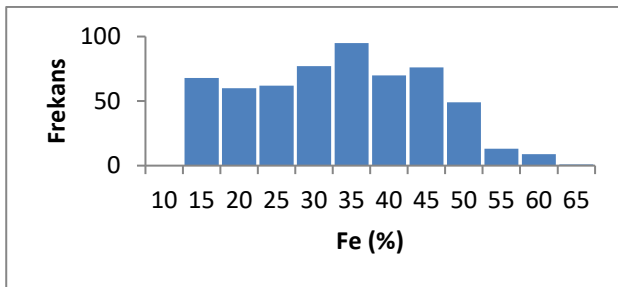


Şekil 2. Katı model ve sondaj görüntüleri a) plan b) oblik

Şekil 2’de görüldüğü gibi yatak, kuzeybatı yönünde 35°’lik belirgin bir eğime sahiptir. Şekil 2.a’da görüldüğü gibi, bazı sondajlar katı model yapılırken dikkate alınmamıştır. Bunun sebebi bu sondajlarda ya hiç cevherli birimlerin kesilmeyişi ya da cevherli birimlerin kalınlığının az olması sebebi ile cevher zonu oluşturulmamasıdır. Katı modelin toplam hacmi 1,7 milyon m<sup>3</sup>’tür. Kestirimde kullanılmak üzere ham verilerin 1 m uzunluğunda kompozitleri oluşturulmuştur. Kestirimlerde bu kompozitler kullanılacağından katı model içerisinde kalan verilerin özet istatistikleri ve histogramları sırası ile Tablo 4 ve Şekil 3’te verilmiştir.

Tablo 4. Katı model içerisinde kalan kompozitlerin özet istatistikleri

Veri sayısı	En düşük	Ortalama	Ortanca	En yüksek	Standart Sapma
850	10,27	30,96	31,55	60,4	11,77

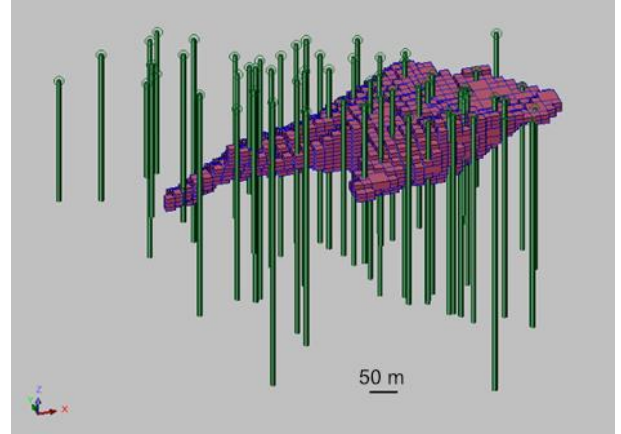


Şekil 3. Katı model içerisinde kalan kompozitlerin dağılımı

Tablo 3 ile Tablo 4 karşılaştırıldığında veri sayısının arttığı gözlenmektedir. Bu durum bazı verilerin 1 m’den uzun örnekler halinde toplanmasından kaynaklanmaktadır. Benzer şekilde görece verilerin varyansı da aynı sebepten düşmüştür. En düşük değerlerin yükselmesinin sebebi ise cevher olarak tanımlanan ancak katı model içerisinde bulunmayan düşük tenörlerden kaynaklıdır.

Maden kaynak kestirimleri doğrudan katı modeller üzerinden yapılmamaktadır. Kestirimlerin yapılabilmesi için katı modeli e-ISSN: 2148-2683

temsil eden blok modellere ihtiyaç duyulmaktadır. Kestirim amacı ile sahada X, Y ve Z yönünde boyutları 10 x 10 ve 5 m olan blok model oluşturulmuştur. Oluşturulan blok model Şekil 4’te gösterilmiştir.



Şekil 4. Blok model oblik görüntüsü

Şekil 4’te görüldüğü gibi blok model katı modeli temsil eder niteliktedir ve 3400 adet blok mevcuttur. Kestirimler bu bloklar üzerinden yapılacaktır. Blok modelin oluşturulması ile kestirimlerin yapılması ve kıyaslanması adımlarına geçilmiştir.

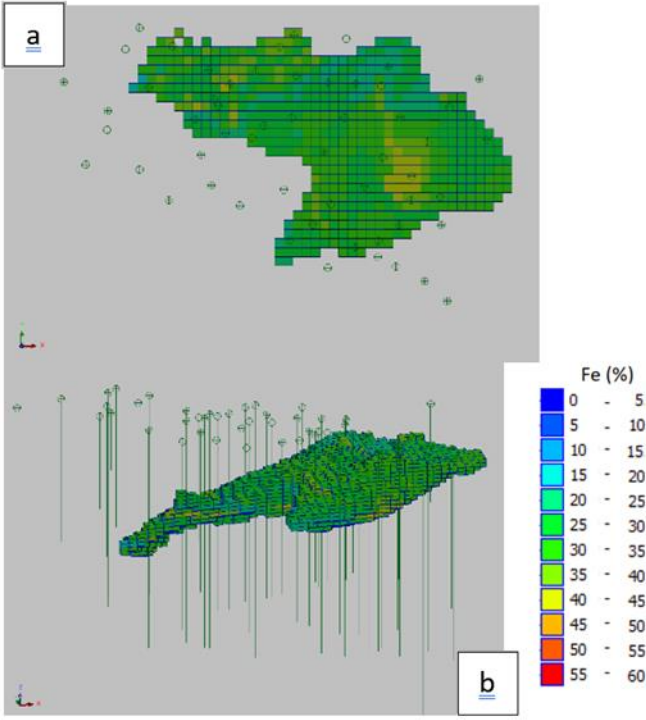
Krigleme ile kestirim amacı ile deneysel variogramlar hesaplanmış ve bu deneysel variogramlara model variogramlar uyarlanmıştır. Yatak yatay yönde izotrop davranırken düşey yönde değişkenlik daha yüksektir. Model uyarlaması sonucu oluşan variogram değerleri Tablo 5’te verilmiştir. Uyarlanan model küreseldir.

Tablo 5. Uyarlanan variogram modeli

C <sub>0</sub>	C	a yatay (m)	a düşey (m)
28	268	150	9

Co: külçe etkisi, C: eşik değeri, a: yapısal uzaklık

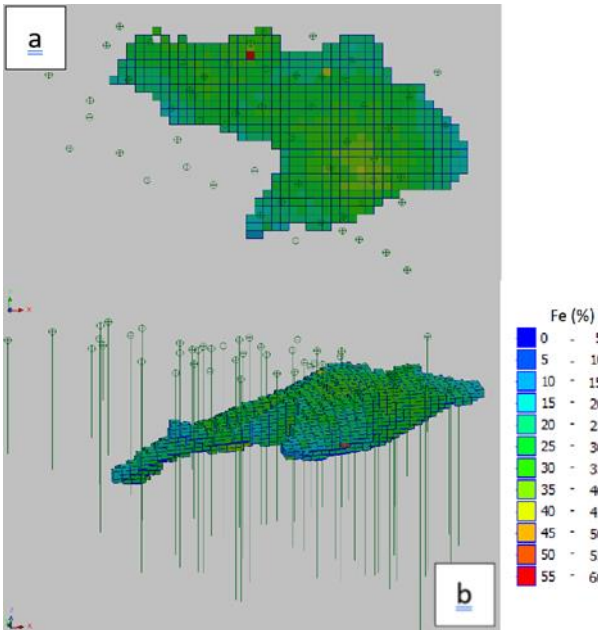
Tablo 5’te verilen variogram modeli kullanılarak yataktaki Fe değerleri tek seferde kestirilmiştir. Kestirim sonucu elde edilen Fe değerlerinin blok modeldeki görüntüsü Şekil 5’te gösterilmiştir.



Şekil 5. Krigleme sonucu elde edilen blok model a) plan b) oblik

Şekil 5'te görüldüğü gibi yatağın en uç kısmına tekabül eden batı kısmında tenörler diğer kısımlara göre daha düşüktür. Ayrıca tenör düşüklüğü güney kısımlarda görece biraz daha düşüktür.

Krigleme ile kestirim işleminden sonra RTF temelli kestirim işlemine geçilmiştir. Bu amaçla deneme yanılma yöntemi kullanılarak alfa değeri 2,6 olarak belirlenmiştir. Farklı alfa değerleri incelenmiş ve bu değerlerden ham verilerin özet istatistiklerine en çok benzeyen blok model sonuçlarının elde edildiği değer kestirim işlemi için tercih edilmiştir. Buna göre RTF sonucunda elde edilen blok model görüntüsü Şekil 6'da sunulmuştur.



Şekil 6. RTF ile kestirim sonucu elde edilen blok model a) plan b) oblik

Şekil 6'da görüldüğü gibi yatak sınırlarına doğru tenör azalmaktadır. Şekil 5 ve 6 kıyaslandığında sonuçların birbirine görsel olarak benzer olmakla birlikte yer yer farklılıklar göze çarpmaktadır. Örneğin kriglemede yatağın orta noktalarına denk gelen kısımda yüksek tenörlü alan daha fazla alan kaplarken bu durum RTF ile kestirimde daha düşük bir alana denk gelmektedir. Ayrıca RTF'de görülen yatak sınırlarına doğru tenör azalması krigleme ile kestirimde belirgin değildir.

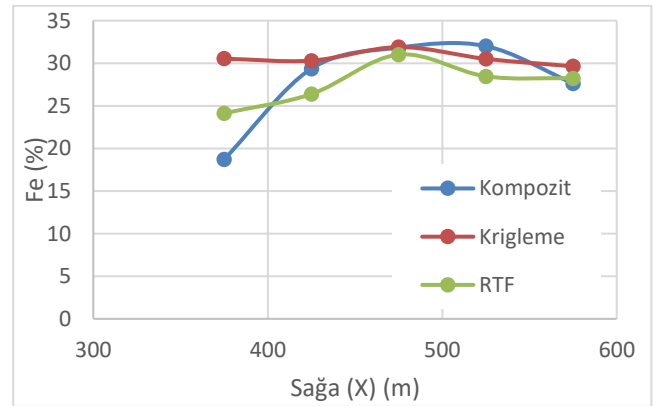
Karşılaştırma amaçlı olarak krigleme ve RTF temelli yöntem ile kestirilen bloklar ile kompozitlerin özet istatistikleri Tablo 6'da verilmiştir.

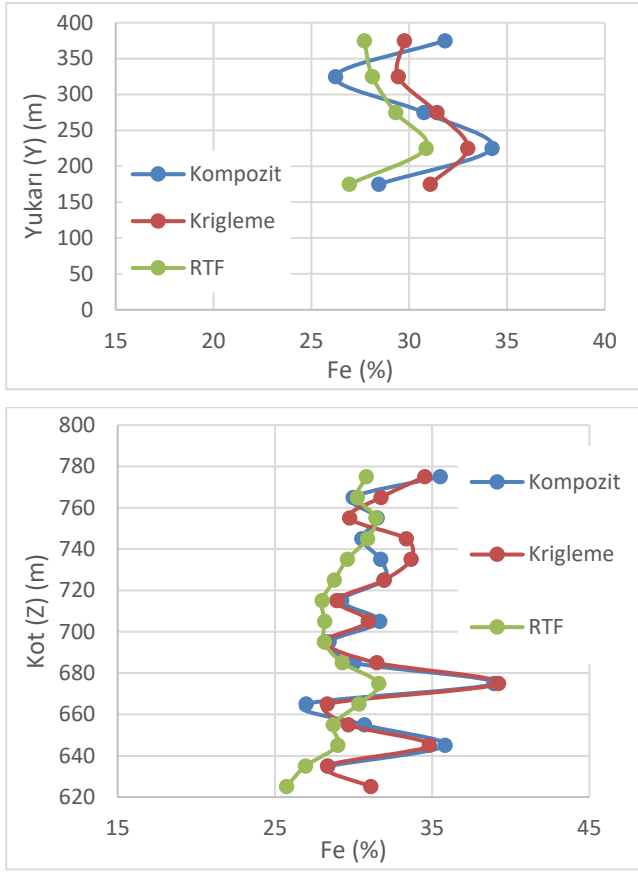
Tablo 6. Kompozit, krigleme ve RTF özet istatistikleri

	Kompozit	Krigleme	RTF
<b>Veri sayısı</b>	850	3415	3415
<b>En düşük</b>	10,27	18,27	12,05
<b>Ortanca</b>	31,55	27,82	29,00
<b>Ortalama</b>	30,96	31,22	29,98
<b>En yüksek</b>	60,4	44,66	55,88
<b>Standart sapma</b>	11,77	5,28	4,56

Özet istatistikler incelendiğinde hem krigleme hem de RTF temelli kestirimde elde edilen sonuçların ortalamasının kompozitlerin ortalamasına yakın olduğu görülmektedir. Ancak kestirim değerlerinin en düşük ve en yüksek değerleri incelendiğinde RTF ile yapılan kestirimlerin kompozitlere daha yakın olduğu gözlenmektedir.

Özet istatistiklere ek olarak Sağa (X), Yukarı (Y) ve Kot yönlerinde kestirimler ve kompozitlerin değişimini karşılaştırmak için trend analizleri yapılmıştır. Bu analizler ile yöne bağlı değişim ortaya koyulmaktadır (Rossi ve Deutsch, 2013). Yöne bağlı değişimler Şekil 7'de gösterilmiştir.





Şekil 7. Trendler; a) Sağa (X), b) Yukarı (Y) ve c) Kot (Z)

Şekil 7'de görüldüğü gibi ve genel olarak beklendiği üzere her iki kestirimin de kompozitlere göre değişkenlikleri daha düşüktür ve ortalama etrafında değerler üretilmiştir. Trend analizleri incelendiğinde RTF ile üretilen kestirimler kompozitlere göre bazı bölgelerde yüksek bazı bölgelerde ise düşüktür. Sonuç olarak RTF ile kestirim ortalamada kabul edilebilir değerler üretmiş olsada bu farklılık lokal ölçekte sapmalara neden olmuştur.

#### 4. Sonuçlar

Bu çalışmada bir demir yatağında maden kaynak kestiriminde geleneksel olarak kullanılan krigleme yöntemi ile RTF temelli kestirim yöntemi kıyaslanmıştır. Krigleme yöntemiyle kestirim için öncelikle deneysel variogramlar hesaplanmış ve model variogramlar uyarlanmıştır. Buna göre variogram yapısal uzaklığı yatay ve düşey yönde sırası ile 150 m ve 9 m'dir. Bu durum bir anisotropiyi göstermektedir. Uyarlanan variogram modeli kullanılarak krigleme ile kestirim yapılmıştır. Kriglemeyi takiben RTF ile kestirim gerçekleştirilmiştir. RTF ile kestirimde alfa değeri 2,6 olarak belirlenmiştir.

Krigleme sonucunda blok model ortalama tenör değeri %31,22 olarak hesaplanmıştır. RTF ile kestirimde ise blok model ortalaması %29,98'dir. Her iki kestirim de kompozit ortalaması olan %30,96'ya oldukça yakındır. Bu açıdan her iki kestirimin de yansız olduğu söylenebilir. RTF ile kestirimde en yüksek ve en düşük değerler sırası ile %55,88 ve %12,05'tir. Krigleme aralıkları ise en yüksek ve düşük değerler için sırası ile %44,66 ve %18,27'dir. Bu bakımdan RTF ile kestirimin kriglemeye göre daha geniş aralıkta sonuç ürettiği söylenebilir. Bu durum kestirimde istenen bir durum olup ileri aşamalarda yani maden

rezerv kestirimi ve planlamasında daha gerçekçi sonuçların ortaya koyulmasında faydalı olacaktır.

Her iki yöntem için X, Y ve Kot yönlerinde trend analizleri yapılmış ve kompozitler ile karşılaştırılmıştır. Trend analizleri incelendiğinde her iki yöntemin de kompozitlere benzer sonuçlar ürettiği görülmüştür. Trend analizleri bakımından her iki yöntem de daha yumuşak değer geçişleri göstermişlerdir. Bu davranış diğer interpolasyon yöntemleri ile paylaşılan bir fenomendir.

Sonuç olarak, RTF temelli kestirim, yöntemin doğası gereği istenilen aralıklarda kestirim sonuçları üretmektedir. Bununla birlikte Kriglemede olduğu gibi kestirim değerleri ortalamaya yaklaşmaktadır ve standart sapması ham verilerden düşüktür. Bu sebepten özellikle en düşük ve en yüksek kestirim değerlerinin ham verilere yakın çıkmasının istendiği durumlarda kullanılabilirliği söylenebilir.

RTF temelli kestirimin uygulaması henüz kısıtlıdır. Bu zamana kadar RTF temelli kestirim ile ilgili yayın çalışmaları devam etmekle birlikte bu çalışma dışında Türkçe bir yayın bulunmamaktadır. Günümüzde kestirim yöntemlerinin yaygınlaşması büyük ölçüde bu yöntemlerin kullanıldığı maden tasarım destek programlarının varlığına bağlıdır. Yöntemin yeni olmasından dolayı günümüzde henüz RTF temelli kestirimi bünyesinde barındıran bir tasarım destek programı yoktur. Bu sebepten yöntemin saha mühendisleri tarafından uygulanabilirliği henüz kısıtlıdır. Sadece bu çalışmada kullanılmak amacı ile yazılmış bir MATLAB programı geliştirilmiş olsa da bu program henüz paylaşımına açık değildir. Ayrıca RTF ile kestirimde kullanılan parametreler deneme yanılma ile belirlenmektedir. Uzun ve zahmetli olan deneme yanılma yöntemi yerine bu parametrenin tahmin edilmesini kolaylaştıran yöntemlerin geliştirilmesi gerekmektedir.

#### 5. Teşekkür

Makalenin hazırlanması esnasında yapıcı eleştirileri ile yayımı zenginleştiren hakemlere teşekkür ederiz.

#### Kaynakça

- Afzal, P. (2018). Comparing ordinary kriging and advanced inverse distance squared methods based on estimating coal deposits; case study: East-Parvadeh deposit, central Iran. *Journal of Mining and Environment*, 9(3), 753–760.
- Bargawa, W. S., Nugroho, S. P., Hariyanto, R., Lusantono, O. W., ve Bramida, R. F. (2020). Geostatistical Modeling of Ore Grade In A Laterite Nickel Deposit. *LPPM UPN "Veteran" Yogyakarta Conference Series Proceeding on Engineering and Science Series (ESS)*, 1(1), 301–310.
- Bargawa, W. S., ve Tobing, R. F. (2020). Iron ore resource modeling and estimation using geostatistics. *AIP Conference Proceedings*, 2245(1), 70016.
- Cornell, R. M., ve Schwertmann, U. (2003). *The iron oxides: structure, properties, reactions, occurrences and uses*. John Wiley ve Sons.
- Dag, A., ve Ozdemir, A. C. (2013). A comparative study for 3D surface modeling of coal deposit by spatial interpolation approaches. *Resource Geology*, 63(4), 394–403.
- De-Vitry, C., Vann, J., ve Arvidson, H. (2007). A guide to selecting the optimal method of resource estimation for multivariate iron ore deposits. *Proceedings of the Iron Ore*



- Conference, 67–77.
- Elevli, B., Demirci, A., Dogan, A., ve Onal, G. (2018). Resource and reserve analysis of Hasancelebi Iron Ore deposit, Turkey. *Mine Planning and Equipment Selection 2000*, 199.
- Gül, Y., ve Küçükkarasu, O. (2020). Resource estimation for Alpagut-Dodurga coal field and determination of spatial distribution of coal quality parameters. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 29(3), 521–537.
- Gusman, M., Muchtar, B., Syah, N., Akbar, M. D., ve Deni, A. V. (2019). Estimations of limestone resources using three dimension block kriging method, a case study: limestone sediment at PT Semen Padang. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 314(1), 12069.
- Hatton, W., ve Fardell, A. (2012). New discoveries of coal in Mozambique—Development of the coal resource estimation methodology for International Resource Reporting Standards. *International Journal of Coal Geology*, 89, 2–12.
- Jeuken, R., Xu, C., ve Dowd, P. (2020). Improving Coal Quality Estimations with Geostatistics and Geophysical Logs. *Natural Resources Research*, 1–18.
- Journel, A. G., ve Huijbregts, C. J. (1978). *Mining geostatistics* (C. 600). Academic press London.
- Marwanza, I., Nas, C., Azizi, M. A., ve Simamora, J. H. (2019). Comparison between moving windows statistical method and kriging method in coal resource estimation. *Journal of Physics: Conference Series*, 1402(3), 33016.
- Matheron, G. (1963). Principles of geostatistics. *Economic geology*, 58(8), 1246–1266.
- Myers, D. E. (1992). Kriging, cokriging, radial basis functions and the role of positive definiteness. *Computers ve Mathematics with Applications*, 24(12), 139–148.
- Nielsen, S. H. H., Partington, G. A., Franey, D., ve Dwight, T. (2019). 3D mineral potential modelling of gold distribution at the Tampia gold deposit. *Ore Geology Reviews*, 109, 276–289.
- Rossi, M. E., ve Deutsch, C. V. (2013). *Mineral resource estimation*. Springer Science ve Business Media.
- Samanta, B. (2010). Radial basis function network for ore grade estimation. *Natural resources research*, 19(2), 91–102.
- Santos, T. C. dos, ve Yamamoto, J. K. (2019). Ore resource estimation based on radial based functions-Case study on União Luiz and Morro do Carrapato Gold Deposits (Alta Floresta Gold Province). *REM-International Engineering Journal*, 72(3), 493–499.
- Shahbeik, S., Afzal, P., Moarefvand, P., ve Qumarsy, M. (2014). Comparison between ordinary kriging (OK) and inverse distance weighted (IDW) based on estimation error. Case study: Dardevey iron ore deposit, NE Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 7(9), 3693–3704.
- Siddiqui, F. I., Pathan, A. G., Ünver, B., Tercan, A. E., Hindistan, M. A., Ertunç, G., Atalay, F., Ünal, S., ve Killioğlu, Y. (2015). Lignite resource estimations and seam modeling of Thar Field, Pakistan. *International Journal of Coal Geology*, 140, 84–96.
- Skala, V., Karim, S. A. A., ve Cervenka, M. (2020). Finding points of importance for radial basis function approximation of large scattered data. *International Conference on Computational Science*, 239–250.
- Tercan, A. E., ve Karayigit, A. I. (2001). Estimation of lignite reserve in the Kalburcayiri field, Kangal basin, Sivas, Turkey. *International Journal of Coal Geology*, 47(2), 91–100.
- Tutmez, B., Dag, A., ve Cengiz, A. K. (2009). Measuring dependence between calorific values of lignite and spatial positions by rank correlation method: A case study. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 32(1), 45–53.
- Wadi, M., ve Ivanik, O. (2019). Geospatial Modelling And Reserves Estimation Of Wadi Al Shati Iron Ore Deposit (Libya). *Monitoring 2019, 2019*(1), 1–5.
- Wang, J., Zhao, H., Bi, L., ve Wang, L. (2018). Implicit 3D modeling of ore body from geological boreholes data using hermite radial basis functions. *Minerals*, 8(10), 443.
- Wang, S., Li, X., ve Du, K. (2017). Grade distribution and orebody demarcation of bauxite seam based on coupled Interpolation. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 42(9), 3963–3972.
- Whateley, M. K. G., Inaner, H., Nakoman, E., ve Mulcahy, S. (1997). Comparison of classical and geostatistical methods for coal resource estimation in the Turgut Deposits, Muğla-Yatağan, SW Turkey. *European Coal Geology, Proceeding 3rd European Coal Conference*, 559–572.
- Wright, G. B. (2003). *Radial basis function interpolation: numerical and analytical developments*. Ph. D. Thesis, University of Colorado, 183 p.
- Yaylagul, C., ve Tutmez, B. (2020). Learning distance effect on lignite quality variables at global and local scales. *International Journal of Coal Science ve Technology*, 1–13.
- Yünsel, T. Y. (2007). Maden yataklarının jeostatistiksel yöntemlerle analizi ve modellenmesi. *ÇU Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği ABD, PhDr Tezi, Adana*.
- Yünsel, T. Y. (2019). In-situ coal quality variability analysis by combining Gaussian co-simulation and a JavaScript. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 41(21), 2631–2649.
- Zerzour, O., Gadri, L., Hadji, R., Mebrouk, F., ve Hamed, Y. (2021). Geostatistics-Based Method for Irregular Mineral Resource Estimation, in Ouenza Iron Mine, Northeastern Algeria. *Geotechnical and Geological Engineering*, 1–10.
- Zhang, S. E., Nwaila, G. T., Tolmay, L., Frimmel, H. E., ve Bourdeau, J. E. (2021). Integration of machine learning algorithms with Gompertz Curves and Kriging to estimate resources in gold deposits. *Natural Resources Research*, 30(1), 39–56.
- Zhang, S. wen, Shen, C. yang, Chen, X. yang, Ye, H. chun, Huang, Y. fang, ve Lai, S. (2013). Spatial Interpolation of Soil Texture Using Compositional Kriging and Regression Kriging with Consideration of the Characteristics of Compositional Data and Environment Variables. *Journal of Integrative Agriculture*, 12(9), 1673–1683. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(13\)60395-0](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(13)60395-0)



# Network Embedding for Link Prediction in Bipartite Networks

Özge Kart<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> Dokuz Eylül University, Faculty of Engineering, Department of Computer Engineering, İzmir, Turkey, (ORCID: 0000-0001-6954-4928), ozge@cs.deu.edu.tr

(First received 22 May 2021 and in final form 25 August 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.937722)

**ATIF/REFERENCE:** Kart, Ö. (2021). Network Embedding for Link Prediction in Bipartite Networks. *European Journal of Science and Technology*, (27), 311-317.

## Abstract

Many social networks have a bipartite nature. Link prediction in social networks has been the focus of interest for many researchers recently. Network embedding, which maps each node in the network to a low-dimensional feature vector is used to solve many problems. The aim of this study is to investigate how network embedding enhance the link prediction performance in bipartite networks. A network embedding and a supervised learning based link prediction model has been presented for bipartite networks. The input of the supervised learning model is learned embedding vectors of node pairs obtained from network embedding method. The target feature of prediction is a binary label indicating the existence or absence of a link between these node pairs. Ensemble learning algorithms have been applied for supervised link prediction. The experiments performed on two bipartite social networks built from public datasets led promising results with 0.939 and 0.974 AUC values. Random Forest models trained with embedding vectors obtained from BiNE method achieved the highest performances.

**Keywords:** Network embedding, Node2vec, BiNE, Link prediction, Bipartite network, Ensemble learning.

## İki Parçalı Ağlarda Bağlantı Tahmini İçin Çizge Gömme

### Öz

Birçok sosyal ağ doğası gereği iki parçalı yapıdadır. Sosyal ağlarda bağlantı tahmini, son zamanlarda birçok araştırmacının ilgi odağı olmuştur. Ağdaki her düğümü düşük boyutlu bir özellik vektörüne eşleyen çizge (ağ) gömme işlemi birçok problemin çözümü için kullanılmaktadır. Bu çalışma, çizge gömme yöntemlerinin iki parçalı ağlarda bağlantı tahmin modelinin performansını nasıl iyileştirdiğini incelemeyi amaçlamaktadır. İki parçalı ağlar için çizge gömme ve makine öğrenmesi tabanlı bir bağlantı tahmini modeli sunulmuştur. Makine öğrenme modelinin girdisi, düğüm çiftlerinin çizge gömme yönteminden elde edilen öğrenilmiş gömme vektörleridir. Tahminleme işleminin hedef özneliği, bu düğüm çiftleri arasında bir bağlantının varlığını veya yokluğunu gösteren ikili bir etikettir. Gözetimli bağlantı tahmini için topluluk öğrenme algoritmaları uygulanmıştır. Herkese açık veri kümelerinden oluşturulan iki parçalı iki sosyal ağ üzerinde gerçekleştirilen deneyler, 0.939 ve 0.974 AUC değerleriyle umut verici sonuçlara ulaşmıştır. BiNE yönteminden elde edilen gömme vektörleri ile eğitilen Random Forest modelleri en yüksek performansları elde etmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Çizge gömme, Node2vec, BiNE, Bağlantı tahmini, İki parçalı ağ, Topluluk öğrenmesi.

\* Corresponding Author: [ozge@cs.deu.edu.tr](mailto:ozge@cs.deu.edu.tr)

## 1. Introduction

A social network is a type of network, in which nodes represent people or other entities in a particular social context, and connections represent the influence, interaction or cooperation between nodes. Networks representing researchers in a particular discipline having a co-authorship relationship or employees in a large company working on a joint project are natural examples of social networks. As a part of researches on large and complex networks, considerable attention is paid to computational analysis of social networks. Social networks grow and develop, with the addition of new connections (links) showing that new interactions in the social structure are emerging. Social networks are very dynamic because of these features (Li et al., 2017).

In many examples of natural social networks, there are relationships not only between entities of the same kind but also between different types of entities. Such relationships form a bipartite network (Gao et al., 2018). For example, a bipartite network represents products on an e-commerce site and customers with a purchasing relationship.

One of the common problems in social network analysis is the link prediction problem, which tries to predict the probability of a new connection between two nodes based on existing connections and the properties of the nodes (Hasan & Zaki, 2011). Link prediction algorithms can be used to predict future connections that may arise in the growing and developing dynamic networks. For example, in social networks, links that are not yet available but have high potential can be suggested as new links.

Peng et al. (2015) addressed the metrics used in link prediction in three main categories according to the basic network information used in prediction: social theory-based, node-based and topology-based. Topology-based techniques are addressed in three subgroups: neighborhood-based, path-based, and random walk-based (Peng et al., 2015). Preferential Attachment index, Jaccard and Adamic-Adar are examples of neighborhood-based metrics that use the common neighborhood information of node pairs to predict whether there will be a link between them. In addition to neighborhood information, path-based metrics such as Local Path use paths through links between nodes to calculate the similarities of node pairs (Lü & Zhou, 2011). Random walk-based methods such as ItemRank use the transition probabilities from a node to its neighbors in a random walk (Gori & Pucci, 2007). Kart et al. (2020) implemented ItemRank metric and their proposed weighted and bipartite extensions of topological metrics such as Jaccard, Adamic-Adar and Preferential Attachment for supervised link prediction. They compared performance of these metrics on machine learning models. ItemRank metric achieved the best performance in their experiments on public MovieLens and Goodreads poetry datasets (Kart et al., 2020).

One of the successfully used methods in the link prediction problem is the network embedding method, which has recently attracted the attention of researchers. Network embedding maps each node in the network to a low-dimensional feature vector, trying to preserve the strength of the connection between nodes (Goyal & Ferrara, 2018). This representation of nodes allows them to be used in link prediction by capturing the natural dynamics of networks. It has been shown that the learned node

representations are used successfully in link prediction on different types of networks such as Collaborative networks (Wang et al., 2016), social networks (Ou et al., 2016) and biological networks (Grover & Leskovec, 2016). However, the use of network embedding methods for link prediction in bipartite networks has been relatively less explored than in other networks (Gao et al., 2018).

This study investigates the effect of network embedding on performance of supervised link prediction in bipartite networks. Network embedding methods node2vec and BiNe are applied on bipartite social networks to solve the link prediction problem. Embedding vectors of node pairs obtained by network embedding methods are fed into supervised machine learning algorithms. Binary classifier models trained in this way are used to predict whether a new link will occur or not in the future. The real-world datasets MovieLens and Goodreads poetry have been used in the experiments. They contain large volume data of ratings given to movies and books by users.

The content of this paper is organized as follows: In the second section, network embedding methods, machine learning algorithms and evaluation methods used in this study are presented. In the third section, datasets and construction of networks are detailed. Conducted experiments on network embedding methods are presented and obtained results are evaluated. Finally, in the fourth section the study is concluded.

## 2. Material and Method

Figure 3 illustrates the supervised link prediction process in this study. Firstly, embedding vectors are computed for each node in the network by applying network embedding methods. Embedding vector pairs of user and item nodes are concatenated and given as input to the machine learning model. The output of the model is the prediction of occurrence of a new link between the node pairs.

### 2.1. Network Embedding Methods

Network embedding is mapping each node in the network into a low dimensional space. It aims to encode the nodes in the network such that the similarities in the embedding space approximates the similarities in the original network. Thus the low dimensional node embeddings can be used as input to machine learning models instead of adjacency matrix which can be very high dimensional for the large networks.

Random Walk is an efficient method for defining similarity of nodes and creating node embeddings. Given a network and a starting point, the algorithm randomly selects one of its neighbors and move to this neighbor. Then, it randomly selects one of the neighbors of this node, then move on to it, and so on. The sequence of nodes selected randomly in this way is a random walk on the network. Therefore, similarity between two nodes  $u$  and  $v$  is defined as the probability of their co-occurrence on a random walk through the network. In this study, two different extensions of Random Walk-based node embedding methods Node2vec and BiNE have been employed.

#### 2.1.1. Node2vec

Node2vec is a network embedding algorithm which generates vector representations of nodes on a graph. Each node in the graph is represented by a low-dimensional continuous feature vector. It aims to learn a mapping of nodes to a low-

dimensional space of features using random walks through a graph starting from a target node. The node embedding process of Node2vec is illustrated in Figure 1. Unlike Deepwalk algorithm (Perozzi et al., 2014), which uses uniform random walks, Node2vec designs a biased random walk procedure, for efficiently exploring diverse neighborhoods. The search strategy in node2vec, gives control to us over the explored neighborhoods through parameters  $p$  and  $q$ .  $p$  and  $q$  parameters allow us to control over the walk, whether it will further explores the neighborhood of a starting node or leave the neighborhood quickly.

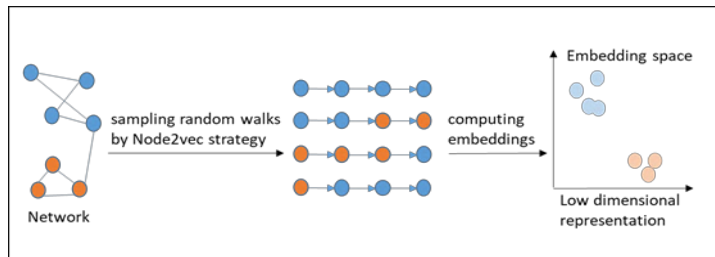


Figure 1. Node2vec embedding process

### 2.1.2. BiNE

Generic network embedding algorithms such as Node2vec can be implemented to learn node embeddings for bipartite networks without considering the node type information. However, real-world applications of bipartite networks involve the relationship between two different types of nodes having different properties and patterns. For example, social network-based recommender systems need to capture the relations between users and items that the users rate. To address this problem, Gao et al. proposed BiNE (Bipartite Network Embedding) algorithm (Gao et al., 2018). It concerns long-tail distribution of node degrees and implicit connectivity relations between nodes of the same type. BiNE designs a biased random walk generator to generate node sequences that preserve the long-tail distribution of node degrees. They proposed an optimization framework that simultaneously models explicit relations (i.e. direct links) and implicit relations (i.e. indirect but transitive links). The node embedding process of BiNE is illustrated in Figure 2.

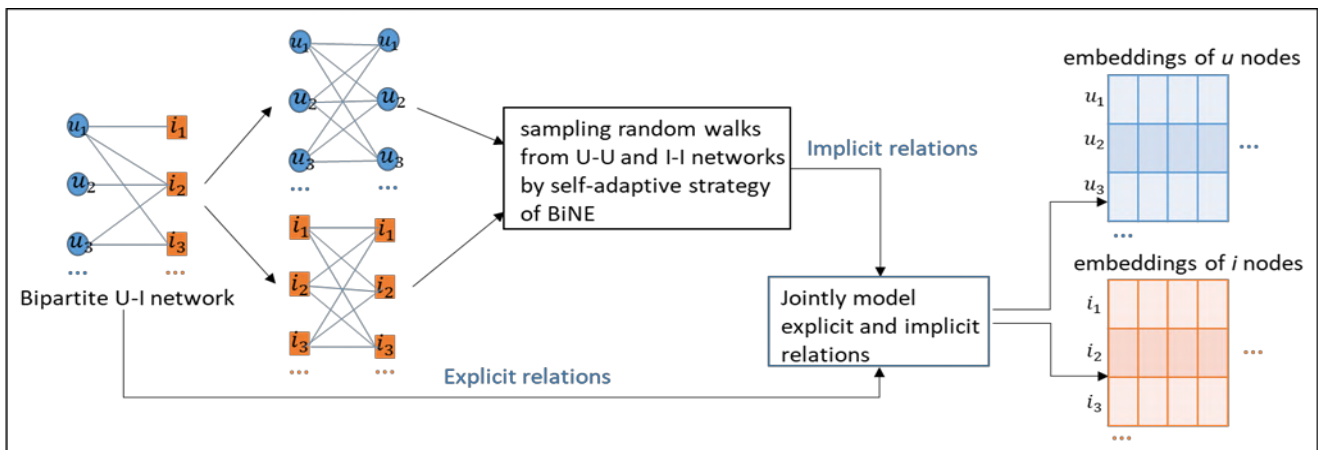


Figure 2. BiNE embedding process

## 2.2. Supervised Learning Methods

In this study, ensemble learning methods are applied as supervised machine learning methods for the binary classification problem. Ensemble methods use multiple learning models to attain better prediction performance than could be attained from any of the individual constituent model. (Kelleher et al., 2015)

The decision tree-based ensemble models trained using the embedding vectors obtained by network embedding methods detailed in section 2.1 are: Random Forest (RF), Adaptive Boosting (AdaBoost) and Extreme Gradient Boosting (XGB). Scikit-learn and XGBoost libraries in python were utilized for applying ensemble learning algorithms with their default hyper parameters. Number of estimators in ensemble models were set to 500.

### 2.2.1. Random Forest

Random Forest classifier proposed by Breiman (2001) is a bagging based ensemble learning method. It combines "Bagging" and "Random Subspace" approaches (Breiman, 2001). The algorithm generates a forest of decision trees. *e-ISSN: 2148-2683*

Multiple random decision trees are trained and all the predictions of the trees are combined to make the most accurate classification instead of a single decision tree (Erdem & Bozkurt, 2021).

### 2.2.2. Adaptive Boosting

Adaptive Boosting (AdaBoost) is a boosting based ensemble learning method. It continuously applies weak learners to resampled training data to create a set of hypothesis functions that are finally combined by a weighted linear vote to build the ensemble classifier. A misclassified sample takes a higher weight. Thus, in the next iterations, the weak learner is forced to concentrate on these hard-to-predict situations and a stronger learner is built (Freund & Schapire, 1996).

### 2.2.3 Extreme Gradient Boosting

The Extreme Gradient Boosting algorithm proposed by Chen and Guestrin (Chen & Guestrin, 2016). It is a novel implementation method of Gradient Boosting. The main improvement of XGB is the normalization of the loss function to reduce model variances. It also reduces the model's complexity and hence the likelihood of overfitting.

### 2.3. Evaluation Metrics

Different evaluation metrics can be applied to measure the performance of the supervised learning models RF and XGB. In this study, Area Under the ROC Curve (AUC), accuracy, precision and recall metrics were applied for the evaluation. These metrics are formulated by using TP, TN, FP and FN parameters. True-Positives (TP) denote the positive instances correctly labeled as positives. True- Negatives (TN) are negative instances correctly labeled as negative. False-Positives (FP) correspond to negative instances wrongly labeled as positive. Lastly, False-Negatives (FN) refers to positive instances wrongly labeled as negative. The ROC Curve is a plot of the true positive rate (TPR) against the false positive rate (FPR). AUC refers to the area under ROC curve (Fawcett, 2006). These metrics are formulated as follows.

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{(TP + TN + FP + FN)} \quad (1)$$

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN} \quad (2)$$

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP} \quad (3)$$

$$TPR = \frac{TP}{TP + FN} \quad FPR = \frac{FP}{FP + TN} \quad (4)$$

In the experiments, 5-fold cross-validation scheme was applied by randomly assigning equal number of positive and negative samples to each fold.

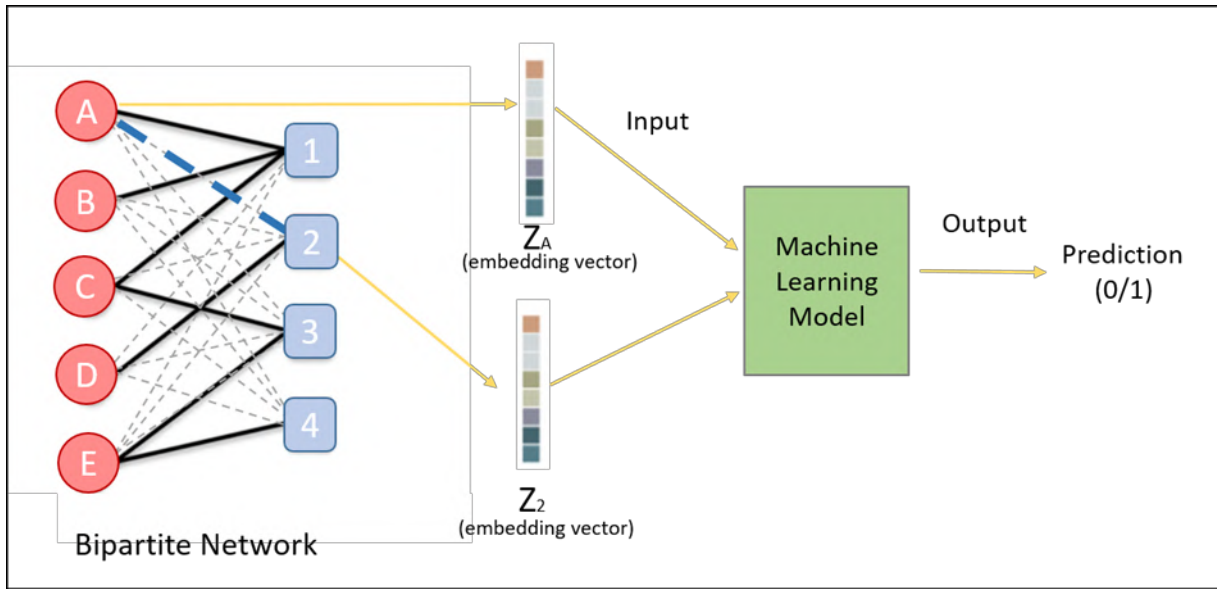


Figure 3. The illustration of supervised link prediction process in this study

## 3. Results and Discussion

### 3.1. Datasets

In this study, two real-world social networks from different fields has been considered: Goodreads poetry (Goodreads, 2021) and MovieLens (MovieLens, 2021). Description of the datasets is provided in Table 1.

- Goodreads: In Goodreads application, users rate the books they have read ranging from one to five. When the user read the book and doesn't rate, rating value become zero. Zero ratings were excluded from dataset.
- MovieLens: It is a web-based recommendation system and social network that recommends new movies to its users based on the movie preferences they have watched before. The dataset contains users' ratings (1-5) to movies they have watched. The rating time of the items (books/movies) is also available in both datasets.

Table 1. Details of the datasets

Dataset	# Users	# Items	# Ratings (Weights)
GoodReads	377,799	36,514	1,636,718
MovieLens	6,040	3,900	1,000,209

### 3.2. Network Generation

Weighted bipartite networks are constructed from the datasets whose details are given in Table 1. Users and items are two different types of nodes of the network. The rating information links the users and items (books/movies). The rating values given to items by users are the weights of the links.

We need to create a labeled dataset for our supervised link prediction problem. The similar process to (Bütün et al., 2018) has been applied in this study, since they used network data including timestamps similar to this study. Firstly, each network is divided into two equal parts. The time intervals for the equal partitioning is given in Table 2. The first network is constructed by using "first dataset" and the second network is constructed by

using “labeling dataset”. In GoodReads network, 382 subcomponents not connected to the main component in the network were omitted from the dataset. If a non-existing link in first network, appears in second network, then this link is labeled as positive, else it is labeled as negative. The number of positive-labeled samples obtained from GoodReads and MovieLens datasets are given in Table 2. To obtain a balanced dataset, the

same number of random negative samples were selected among all negative samples which have a large volume.

The network embedding algorithms (Node2vec and BiNE) described in method section have been implemented on the labeled datasets. Each node in the network is represented by a low- dimensional feature vector. These feature vectors are used to train the ensemble learning models.

Table 2. Details of the network generation process

Dataset	Years of first dataset	Years of labeling dataset	Positive instances obtained
GoodReads	April 2000 – October 2000	November 2000 –December 2003	146,756
MovieLens	2007 - 2013	2014 - 2017	47,636

### 3.3. Experimental Results

Performances of the ensemble learning models built using learned embedding vectors have been evaluated. The concatenated embedding vectors of node pairs obtained by applying two different network embedding methods Node2Vec and BiNe are given as input to supervised machine learning algorithms. The embedding size is 100 in Node2Vec implementation and it is 128 in BiNe implementation. Binary classifier models trained in this way have been used to predict potential links. The performance of the models have been evaluated by cross validation in terms of evaluation metrics stated in methods section.

In all ensemble learning models; Random Forest, AdaBoost and XGBoost trained with the Goodreads dataset, BiNE representation achieved slightly more successful results in terms of average accuracy, precision and AUC values compared to Node2vec representation, with an exception of recall values.

All performance values are given in Table 3. BiNE representation increased accuracy and AUC values of Random Forest model by approximately 6% and 4% respectively, compared to Node2vec.

Table 4 shows that, BiNE representation achieved more successful results in terms of accuracy, precision, recall and AUC values compared to Node2vec representation in all models trained with the Movielens dataset. In the experiments using this data set, a higher performance increase was observed in BiNe representation compared to those conducted with the Goodreads dataset. BiNE representations increased accuracy and AUC values of Random Forest model by approximately 12% and %8 compared to Node2vec.

In experiments using both Goodreads and Movielens data sets, the best performance is observed in Random Forest models trained with BiNE representations with 0.939 and 0.974 AUC values respectively.

Table 3. Performance values of ensemble learning models trained with Goodreads dataset

Model:	Node2vec			BiNE		
	RF	AdaBoost	XGBoost	RF	AdaBoost	XGBoost
Average Accuracy:	0.811	0.780	0.810	0.877	0.863	0.863
Average Precision:	0.799	0.770	0.795	0.895	0.889	0.884
Average Recall:	0.954	0.964	0.965	0.923	0.907	0.912
Average Auc:	0.899	0.906	0.922	<b>0.939</b>	0.927	0.927

Table 4. Performance values of ensemble learning models trained with MovieLens dataset

Model:	Node2vec			BiNE		
	RF	AdaBoost	XGBoost	RF	AdaBoost	XGBoost
Average Accuracy:	0.814	0.765	0.808	0.930	0.880	0.838
Average Precision:	0.770	0.754	0.784	0.933	0.872	0.816
Average Recall:	0.897	0.792	0.852	0.928	0.894	0.873
Average Auc:	0.895	0.847	0.890	<b>0.974</b>	0.950	0.917

### 3.4. Comparison with Topology Based Metrics

In this section, the performances of ensemble learning models RF and XGB trained by using network embedding methods Node2vec and BiNE are compared with conventional topology-based metrics Jaccard and Local Path adapted to

weighted bipartite networks and Item Rank metric presented in a previous study (Kart et al., 2020). Table 5 and Table 6 compare the AUC results of classification models trained with Node2vec and BiNE representations and topology-based metric values, computed from Goodreads and Movielens datasets, respectively.

A substantial increase is observed in the AUC values of ensemble machine learning models trained with the network embedding-based representations compared to other topology-based metrics.

Between the models trained using topology-based metrics and Node2Vec representation, XGBoost achieved a better AUC value than Random Forest (except that node2vec representation of MovieLens network has approximately equal AUC in both models). Random Forest achieved the best AUC results in experiments performed for both data sets when BiNE method was used to represent the networks.

The results of the experiments has shown that supervised link prediction using network embedding methods are more successful than conventional topology-based link prediction methods described above.

Table 5. AUC results of ensemble learning models trained with Goodreads dataset by using topology based metrics and network embedding methods

	Model:	RF	XGBoost
Results of Topology-based metrics from (Kart et al., 2020)	Jaccard:	0.863	0.890
	Local Path:	0.831	0.848
	Item Rank:	0.880	0.911
Results of Network embedding methods	Node2vec:	0.899	0.922
	BiNE:	<b>0.939</b>	0.927

Table 6. AUC results of ensemble learning models trained with MovieLens dataset by using topology based metrics and network embedding methods

	Model:	RF	XGBoost
Results of Topology-based metrics from (Kart et al., 2020)	Jaccard:	0.684	0.773
	Local Path:	0.719	0.803
	Item Rank:	0.774	0.846
Results of Network embedding methods	Node2vec:	0.895	0.890
	BiNE:	<b>0.974</b>	0.917

#### 4. Conclusion and Future Work

In this study, a supervised link prediction model based on network embedding methods for bipartite networks has been presented. Network embedding methods have been applied on bipartite networks. They represented each node in a network as a learned embedding vector encoding the structure information of the network. These embedding vectors of node pairs have been fed into ensemble learning models to predict potential links.

The experiments conducted on Goodreads and MovieLens datasets have demonstrated that the models obtained 0.939 and 0.974 AUC values respectively, which are promising results. Network embedding methods node2vec and BiNe outperformed weighted and bipartite extensions of topology based network similarity metrics Jaccard, Local Path and original Item Rank metric. The highest AUC values have been provided by Random Forest models trained with BiNe representations for both datasets. Since different node types of bipartite networks are taken into consideration in BiNe method, it has yielded higher

performance than node2vec. The results of this study present that network embedding methods enhance supervised link prediction in bipartite networks.

In the experiments of this study, the network embedding algorithms has run with one parameter setup. By performing parameter tuning on these algorithms, the optimal parameter setup and its effect on the performances of models can be investigated. Deep learning algorithms can be implemented in addition to ensemble machine learning methods for supervised link prediction, in order to extend the analysis in this study.

#### References

Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine learning*, 45(1), 5-32.

Bütün, E., Kaya, M., & Alhadj, R. (2018). Extension of neighbor-based link prediction methods for directed, weighted and temporal social networks. *Information Sciences*, 463-464, 152-165. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2018.06.051>

Chen, T., & Guestrin, C. (2016). XGBoost: A scalable tree boosting system. *Proceedings of the ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*. <https://doi.org/10.1145/2939672.2939785>

Erdem, E., & Bozkurt, F. (2021). A comparison of various supervised machine learning techniques for prostate cancer prediction. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 21, 610-620.

Fawcett, T. (2006). ScienceDirect.com - Pattern Recognition Letters - An introduction to ROC analysis. *Pattern Recognition Letters*.

Freund, Y., & Schapire, R. E. (1996). Experiments with a New Boosting Algorithm. *Proceedings of the 13th International Conference on Machine Learning*. <https://doi.org/10.1.1.133.1040>

Gao, M., He, X., Chen, L., Liu, T., Zhang, J., & Zhou, A. (2018). *Learning Vertex Representations for Bipartite Networks*. 1-14.

Goodreads. (2021). <https://www.goodreads.com/>

Gori, M., & Pucci, A. (2007). ItemRank: A random-walk based scoring algorithm for recommender engines. *IJCAI International Joint Conference on Artificial Intelligence*, 2766-2771.

Goyal, P., & Ferrara, E. (2018). Knowledge-Based Systems Graph embedding techniques, applications, and performance : A survey. *Knowledge-Based Systems*, 151, 78-94. <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2018.03.022>

Grover, A., & Leskovec, J. (2016). *node2vec*. <https://doi.org/10.1145/2939672.2939754>

Hasan, M. Al, & Zaki, M. J. (2011). A Survey of Link Prediction in Social Networks. In *Social Network Data Analytics*. [https://doi.org/10.1007/978-1-4419-8462-3\\_9](https://doi.org/10.1007/978-1-4419-8462-3_9)

Kart, O., Ulucay, O., Bingol, B., & Isik, Z. (2020). A machine learning-based recommendation model for bipartite networks. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2020.124287>

Kelleher, J., Mac Namee, B., & D'arcy, A. (2015). *Fundamentals of machine learning for predictive data analytics: algorithms, worked examples, and case studies*. MIT Press.

Li, Z., Fang, X., & Sheng, O. R. L. (2017). A survey of link recommendation for social networks: Methods, theoretical foundations, and future research directions. *ACM Transactions on Management Information Systems*.

- <https://doi.org/10.1145/3131782>
- Lü, L., & Zhou, T. (2011). Link prediction in complex networks: A survey. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 390(6), 1150–1170. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2010.11.027>
- MovieLens. (2021). <https://grouplens.org/datasets/movielens/>
- Ou, M., Cui, P., Pei, J., Zhang, Z., & Zhu, W. (2016). Asymmetric transitivity preserving graph embedding. *Proceedings of the ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*. <https://doi.org/10.1145/2939672.2939751>
- Peng, W., Baowen, X. U., Yurong, W. U., & Xiaoyu, Z. (2015). *Link Prediction in Social Networks : the State-of-the-Art arXiv : 1411 . 5118v2 [ cs . SI ] 8 Dec 2014*. 58(January), 1–38. <https://doi.org/0.1007/s11432-014-5237-y>
- Perozzi, B., Al-Rfou, R., & Skiena, S. (2014). DeepWalk: Online learning of social representations. *Proceedings of the ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*. <https://doi.org/10.1145/2623330.2623732>
- Wang, D., Cui, P., & Zhu, W. (2016). Structural deep network embedding. *Proceedings of the ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*. <https://doi.org/10.1145/2939672.2939753>





# Döner Kanatlı İnsansız Hava Aracının Sistem Tasarımı ve Kontrolü

Tuğrul Oktay<sup>1</sup>, Enes Özen<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Erciyes Üniversitesi, Havaçılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Uçak Mühendisliği Bölümü, Kayseri, Türkiye (ORCID: 0000-0003-4860-2230), [oktay@erciyes.edu.tr](mailto:oktay@erciyes.edu.tr)

<sup>2\*</sup> Hasan Kalyoncu Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, İHA Teknolojisi ve Operatörlüğü Programı, Gaziantep, Türkiye (ORCID: 0000-0001-7816-2374),  
[enes.ozen@hku.edu.tr](mailto:enes.ozen@hku.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 24 Haziran 2021 ve Kabul Tarihi 9 Eylül 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.957056)

**ATIF/REFERENCE:** Oktay, T., Özen, E. (2021). Döner Kanatlı İnsansız Hava Aracının Sistem Tasarımı Ve Kontrolü. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (27), 318-324.

## Öz

Hava araçları insanlı ve insansız olarak iki kategoride sınıflandırılır. İnsansız hava araçları arama, kurtarma, araştırma, gözleme gibi görevler için tercih edilmektedir. Taşıyabileceği faydalı yük, uçuş süresi gibi durumlar hava aracının tasarımında limitler oluşmasına sebep olmaktadır. Geleneksel hava araçlarının seyir edemediği alanlara nüfuz edebilecek ve aynı faydalı yük kapasitesinde hava araçlarına ihtiyaç olmuştur. Bu ihtiyaç, doğadaki kuşların incelemeleri sonucunda şekil değiştirebilen sistemlerin uygulanabilirliği araştırmalara konu olmuştur. Bu çalışmada dört rotorlu insansız hava aracı ile aynı faydalı yük kapasitesi ve aynı uçuş süresine sahip şekil değiştirebilen dört rotorlunun sistem tasarımı ve kontrolü gerçekleştirildi. Kararsız yapıda olan dört rotorlu PID (oransal integral türev) kontrolör ile kontrol edilebildi. Hava aracı üzerinde bulundurduğu MEMS (Mikro Elektro-Mekanik Sensör)'ler ve engel algılama sensörleri sayesinde dört rotorlunun kolları arasındaki kesişim açısını değiştirecek aktüatörün enerjilendirilmesi ile açı azaltılarak kapalı ortamda engellerden sakınması ve seyrine devam edebilmesi amaçlandı. Hava aracının seyir halinde şekil değiştirmesi neticesinde meydana gelen konfigürasyon değişikliğinin uçuş karakteristiğine olan etkileri incelendi. Elde edilen bu sonuçlar, bu çalışma kapsamında sunuldu.

**Anahtar Kelimeler:** Şekil Değiştirebilen Dört Rotorlu Hava Aracı, MEMS, Sistem Tasarımı, Sistem Kontrolü.

## System Design and Control of Rotary Wing Unmanned Aerial Vehicle

### Abstract

Aircraft are classified in two categories as manned and unmanned. Unmanned aerial vehicles are preferred for tasks such as search, rescue, research and observation. Conditions such as the payload it can carry and the flight time cause limits in the design of the aircraft. There was a need for aircraft with the same payload capacity that could penetrate areas where conventional aircraft could not navigate. This need and the applicability of systems that can change shape as a result of the studies of birds in nature have been the subject of research. In this study, the system design and control of a morphing quadrotor with the same payload capacity and the same flight time as the quadrotor unmanned aerial vehicle was carried out. It could be controlled with a PID controller, which is unstable. Thanks to the MEMS and obstacle detection sensors on the aircraft, it is aimed to energize the actuator, which will change the angle of intersection between the arms of the quadrotor, and to avoid obstacles in the closed environment and continue its course by reducing the angle. The effects of the configuration change, which occurred as a result of the shape change of the aircraft while cruising, on the flight characteristics were examined. These results are presented within the scope of this study.

**Keywords:** Morphing Quadrotor, MEMS, System Design, System Control.

\* Sorumlu Yazar: [enes.ozen@hku.edu.tr](mailto:enes.ozen@hku.edu.tr)

## 1. Giriş

Hava araçları, taşıdıkları faydalı yükler sayesinde birçok görevi yerine getirebilmektedir. Bunlardan en önemlisi arama kurtarma görevidir. Gerçekleşen deprem, yangın veyarehin alma gibi durumlarda, kapalı alanlarda hareket kabiliyeti yüksek aynı zamanda taşıdığı faydalı yükler sayesinde verilen görevleri doğru bir şekilde gerçekleştirmesi arzu edilmektedir. Gelişen teknoloji ile birlikte yüksek çözünürlüklü sensörler hava araçlarında uygulanmaktadır. Sensörlerden alınan yüksek hassasiyetteki veriler, hava aracının kör uçuş gerçekleştirebilmesini sağlamaktadır. Bu uygulamalar için en uygun hava aracı dört rotorlu insansız hava araçlarıdır. Günümüzde yaygın olarak kullanılan dört rotorlu hava araçları, kapalı ortam uygulamaları için yeteri kadar ergonomik değildir. Dış ortamda atmosferik bozuntulara karşı uçuş kararlılığını koruyabilecek şekilde geliştirilen dört rotorlu hava aracı, kapalı ortamlarda engellerden sakınmak için yeteri kadar küçük değildir. Dış ortamlarda, belirtilen durumlarda kararlı uçabilen aynı zamanda kapalı ortamlarda da uçuş gerçekleştirebilen döner kanatlı hava araçlarına ihtiyaç vardır. Şekil değiştirebilen kuadrotrda, kolları arasındaki kesişim açısı, kontrol edebilen mekanizma sayesinde değiştirebilmektedir.

A. Desbriez et al. [1] çalışmalarında X-Morf robotu ile yapılan testler, uçuş sırasında genişliğini 0,5 saniye içinde % 28,5'e kadar dinamik olarak azaltabildiğini ve artırabildiğini, aynı zamanda iyi stabilite ve tutum izleme performansları sağladığını gösterdi.

Falanga, D. et al. [2] çalışmalarında uçuş sırasında aracın şeklini belirli bir göreve veya ortama uyacak şekilde değiştirmekten oluşan uyarlanabilir bir morfolojinin kullanımını araştırdı.

Y. Bai ve S. Gururajan [3] çalışmalarında uçuş sırasında kesişme açısını değiştirebilen bir morphing geometri kuadropter'in tasarımını, imalatını ve uçuş testi değerlendirmesini açıklamaktadır.

Di Luca M. et al.[4] çalışmalarında, farklı aerodinamik gereksinimleri karşılamak için geometrisini hızla değiştirebilen yapay tüylerden oluşan yeni bir morphing kanat tasarımı gerçekleştirdiler.

Prisacariu, V., Sandru, V., ve Rău, C. [5] çalışmalarında otomatik komuta kontrol sisteminin kökenini, tarihçesini ve dönüşen İHA türlerini ve konseptine dayalı ilkelerini incelemektedir.

Oktay, T., & Sal, F [6] çalışmalarında daha fazla helikopter uçuş kontrol sistemi (yani FCS) enerjisinden tasarruf etmek için pasif geçiş ve aktif geçiş yaklaşımları birleştirilmiştir.

O. Kose ve T. Oktay [7] çalışmalarında kuadrotroların yaw hareketi için eş zamanlı olmayan morphing tasarımı yapmışlardır. Çalışmalarında kuadrotr dinamik modellemesini durum uzay modeli kullanarak Matlab/Simulink ortamında geliştirmişlerdir.

O. Kose ve T. Oktay [8] çalışmalarında boylamasına, yanlamasına ve hover uçuşu için bir kuadrotr tasarımı yapmışlardır. Çalışmalarında Newton-Euler metodu ile kuadrotr dinamiklerini türetmişler ve lineer modelleme üzerinde çalışmışlardır.

O. Kose ve T. Oktay [9] çalışmalarında kuadrotroların için eş zamanlı olmayan morphing tasarımı gerçekleştirmişlerdir. Yazarlar Solidworks programında kuadrotr morphing olan ve

olmayan durumlarını tam model olarak çizmişlerdir. Çizilen modellerde katı cisim dinamiklerinden yararlanılarak morphing olmayan ve olan durumlarda kuadrotr atalet parametrelerini elde etmişlerdir. Atalet parametreleri ise durum uzay modeli yaklaşımında giriş matrisi elemanı olarak değişkenlik gösterdiğini ifade etmişlerdir. Değişen atalet parametreleri ve PID kontrol algoritmasını kullanarak boylamasına ve yanlamasına uçuş için simülasyonlar yapmışlardır.

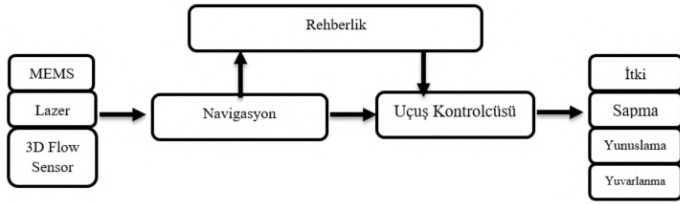
J. Zhang, J. Feng, B. Zhou. Sensor [10] çalışmalarında, MEMS IMU'ların hatalarını ortadan kaldırmak ve kuadrotr dronların yörüngesini yeniden oluşturmak için yeni bir sensör-füzyon tabanlı yöntem öneriyoruz. MEMS IMU'lar, dört rotorlu dronlarda ve diğer mobil cihazlarda yaygın olarak donatılmıştır. Ne yazık ki, yörünge rekonstrüksiyonunda kötü sonuçlara neden olan birçok doğal hata taşır. Bu sorunu çözmek için MEMS IMU'lardaki ivmeölçer sinyalleri için bir hata modeli kurulmuştur. Bu modelde hata, bir önyargı bileşeni ve bir gürültü bileşeninden oluşur. İlk olarak, gürültü bileşenini azaltmak için alt örneklemeli bir alçak geçiren filtre uygulanır. Ardından, önyargı bileşeni, diğer sensörlerin yardımıyla dinamik olarak algılanır ve ortadan kaldırılır. Son olarak, dronun yörüngesi, kalibre edilmiş ivmeölçer verilerinin entegrasyonu yoluyla yeniden yapılandırılır. Yörünge yeniden yapılandırma yöntemimizi, düşük maliyetli bir MEMS IMU kullanan Parrot AR.Drone 2.0 üzerinde uyguluyoruz. Deneysel sonuçlar etkinliğini kanıtlıyor. Bu yöntem teorik olarak MEMS IMU'ları ile donatılmış diğer mobil cihazlara uygulanabilir.

Bu çalışmada, daha önce yapılan çalışmalardan elde edilen kazanımlarla şekil değiştirebilen kuadrotr tasarımı gerçekleştirildi. Şekil değişikliği durumunda kontrol edilebilirliği incelendi. Sensörlerden alınan veriler sayesinde kapalı ortamda karar verebilme yeteneği kuadrotrda kazandırıldı.

## 2. Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada arama ve kurtarma görevleri için otonom döner kanatlı insansız hava aracı tasarlandı. Döner kanatlı insansız hava aracının avantajı dikey iniş kalkış yapabilmesi ve askıda kalabilmesidir. Böylelikle kapalı alanlarda düşük hızlarda uçuş gerçekleştirebilmekte üzerinde bulundurduğu sensörler sayesinde engellerden sakınabilmektedir. Yavaş hızda uçabilmesi ve askıda kalabilmesinin yanında kaldırma kuvveti pervaneler tarafından üretildiği için enerji kaybı fazladır. Güç tüketimi bununla doğru orantılı olup havada kalma süresi kısıtlıdır. Daha uzun havada kalma süresi için daha fazla bataryaya ihtiyaç vardır. Bu da uçuş ağırlığını artırmaktadır. Daha fazla yük, daha büyük pervanelere olan ihtiyacı artırmaktadır. Görev amacı göz önüne alındığında kapalı ortamlarda engellerden sakınması ve dar yerlerden geçebilmesi için gövdenin yanal olarak daralabilmesi fonksiyonu hava aracına eklendi. Aktif olarak şekil değiştirebilen hava aracı X1 ve X2 iki farklı konfigürasyon da uçuş gerçekleştirebilmektedir.

Hava aracının kabiliyetleri genişledikçe, yönlendirme ve navigasyon sistemlerini oluşturan donanım ve yazılıma talepler de artmaktadır. Rehberlik, seyrüsefer ve kontrol algoritmaları, hava aracının otonom uçuş yoluyla atanan görevi başarıyla tamamlamak için uçuş yazılımının temelini oluşturur. Hava aracının kapalı ortamlarda gerçekleştireceği görev için otonom rehberlik, navigasyon ve kontrolcüye ihtiyaç vardır [13]. Kuadrotrdaki rehberlik, navigasyon ve kontrol sisteminin diyagramı Şekil 1'de gösterilmektedir.

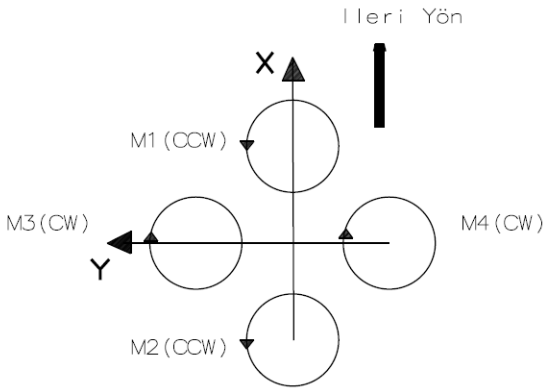


Şekil 1. Kontrol Sistem Diyagramı

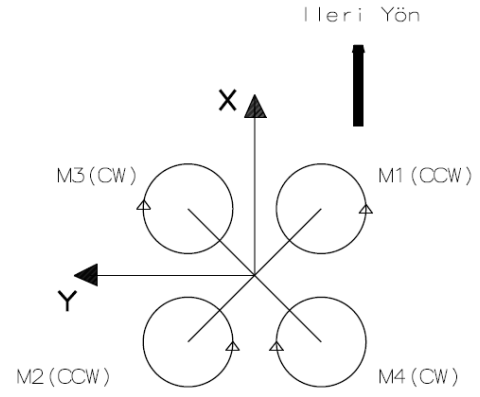
Hava aracının tehlikeli ve karmaşık ortamları incelemek ve keşfetmek gibi artan sayıda sivil ve askeri uygulamaya rastlanmaktadır. Bu görevleri doğrudan veya sürekli insan kontrolü olmadan gerçekleştirmek için otonom rehberlik, navigasyon ve kontrol gereklidir. Kontrol sistemi, hava aracını istenen konuma yönlendiren rehberlik sistemi, mevcut konumunu izleyen ve durumunu tahmin eden navigasyon sistemi ve rehberlik komutlarını kabul eden ve rehberlik hedeflerini takip etmek ve aynı zamanda hava aracı tutumunu dengelemek için gerçek aktüatör sinyallerini üretmek için navigasyon verilerini kullanan kontrol döngüsü tasarımı gerekmektedir [13].

## 2.1. Döner Kanatlı Hava Aracı Tasarımı

Döner kanatlı insansız hava aracı, rotorların pervaneleri döndürmesiyle elde edilen kaldırma kuvveti ile havalanmaktadır. Rotorun farklı hızlarda dönmesi hava aracının merkezindeki gövde eksen takımında gerçekleştirilen rotasyon hareketleri, yatay veya dikey ekseninde hareket etmesini sağlamaktadır. Rotorların açısal hızlarındaki bu değişimi uçuş kontrolcüsü tarafından sensörlerden ve komutların derlenmesiyle gerekli yönelmenin sağlanması için rotarlara sinyal iletir [16]. Dört rotorlu insansız hava aracının motor yerleşim ve dönüş yönlerini belirleyen konfigürasyon bilgisi önemlidir. İki çeşit konfigürasyon bulunmakta ve bunlar artı (Şekil 2a) ve çarpaz (Şekil 2b) konfigürasyonlardır. Bu çalışmada X konfigürasyon tercih edildi.



Şekil 2a. Dört Rotorlu İnsansız Hava Aracı + Konfigürasyon



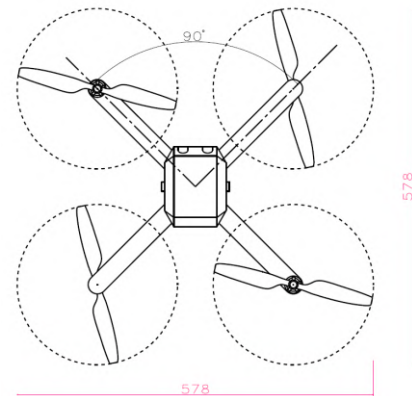
Şekil 2b. Dört Rotorlu İnsansız Hava Aracı X Konfigürasyon

Rotorlar sırayla ters yönde dönüş gerçekleştirmelidir. Bu sayede pervanelerin ürettiği sürüklenme kuvveti etkisiyle platformun düşey eksen etrafında oluşan toplam moment dengelenir. Bu yüzden kullanılan rotor ve pervaneler eşdeğer seçilmelidir. X ekseninin sağındaki veya solundaki rotorlar hangi yöne yatış hareketi gerçekleştirilecekse bunun zıttı bölgedeki rotorların dönüş hızları artırılır. Bu sayede eksen etrafında kuvvet farkı oluşturulur. X eksenini etrafında moment oluşur. Bu da yatışın gerçekleştirilmesini sağlar. Yatış sırasında pervanelerin dikey eksen ile arasında oluşan açı net itkinin azalmasına sebep olacaktır. Bu durum askıda kalma durumuna göre kuadro rotorun daha fazla güç tüketmesine sebep olacaktır. Benzer durum sapma ve yunuslama hareketleri içinde geçerlidir.

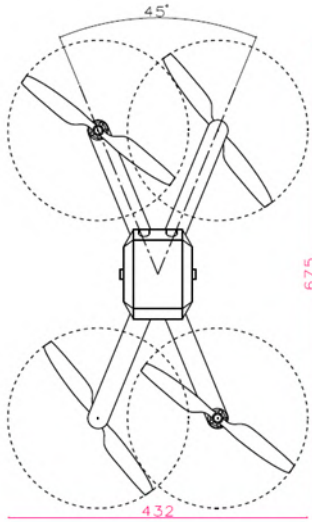
Kapalı ortamlarda hava aracının hareket edebilmesi engellerden sakınması ve dar alanlardan geçebilmesi gerekebilir. Bunun için optimizasyon çalışması yapılabilir veya bu çalışmada olduğu gibi hava aracının aktif şekil değiştirmesi sağlanabilir [6]. Hava aracı, iki kol ve bunlara monte edilmiş rotor ve pervanelerin dönmesi etkisiyle aerodinamik kuvvetleri oluşturmaktadır. Bu kollar arasındaki açı bir mekanizma tarafından değiştirilebilir. Bu değişiklik sonucunda hava aracının gövde ölçüleri Tablo 1'de verildi.

Tablo 1. Dört rotorlu Hava Aracı Geometrisi

Hava Aracı Ölçüleri	X1 Konfigürasyon	X2 Konfigürasyon
Genişlik	578 mm	432 mm
Boy	578 mm	675 mm

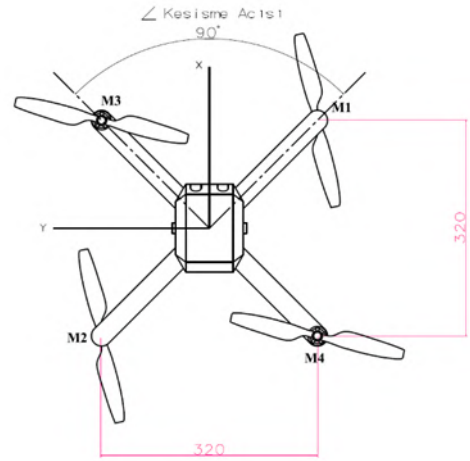


Şekil 3. X1 Konfigürasyon Kesişme Açısı 90° (Şekil Değişimi Olmadan)

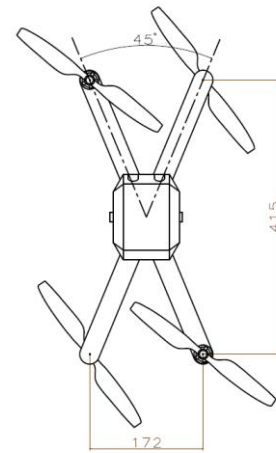


Şekil 4. X2 Konfigurasyon Kesişme Açısı 45° (Yanal Daralmış)

Hava aracının kolları arasındaki bu değişim sistemin ağırlık merkezini etkilememektedir. Rotorların ağırlık merkezine olan uzaklığı ve pozisyonları, ataleti ve kuvvetlerin eksenler üzerinde oluşturduğu momentleri değiştirmektedir. Bunlar Tablo 2’de verildi. Bu durum sistemin kararlılığını ve kontrolcünün değişikliğine sebep olmaktadır.



Şekil 5. X1 Konfigurasyon Kesişme Açısı 90° (Pervane Hariç Geometrik Ölçü)



Şekil 6. X2 Konfigurasyon Kesişme Açısı 45° (Pervane Hariç Geometrik Ölçü)

Tablo 2. X1 ve X2 Konfigurasyon Geometrileri

Sembol	Tanım	X1 Konfig.	X2 Konfig.	Birim
$\angle$	Kesişim Açısı	90	45	derece
m	Hava aracı kütlesi	750	750	gr
l	Kol Uzunluğu	0.45	0.45	m
lx	Boy	0.32	0.415	m
ly	Genişlik	0.32	0.172	m
$I_x$	Atalet Momenti, X Eksen	0.0064	0.001849	$Kgm^2$
$I_y$	Atalet Momenti, Y Eksen	0.0064	0.01076	$Kgm^2$
$I_z$	Atalet Momenti, Z Eksen	0.01265	0.01265	$Kgm^2$

## 2.2. Sistem Modelleme

Döner kanatlı insansız hava aracının 6 serbestlik dereceli bir sistemdir. Bu değişkenlerden yuvarlanma (roll), yunuslama (pitch), yalpalama (yaw), dünya sabit eksen ile gövdeye ağırlık merkezine ilişkilendirilmiş eksenleri arasında bulunan euler açılarıdır. Gövde çerçevesi üzerinde p, q ve r açısal hızlarıdır. Sabit eksenlerde konum değişkenleri; x, y ve z dir. Gövde üzerinde çizgisel hızı veren u, v ve w dir [11].

e-ISSN: 2148-2683

### 2.2.1 Doğrusal Dinamik Hareket

Hava aracına uygulanan kuvvet ve momentler gövde üzerinde tanımlanmaktadır. Eşitlik 1 de verilen Newton 2. Yasası ile tanımlanır. Momentumdaki değişim kuvveti verir. Hava aracının ivme değerlerinden  $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$  elde edilir[12].

$$F=ma \quad (1)$$

Gövde eksen takımı ile dünya sabit eksen takımı arasında ilişki rotasyon ilişkisi kurularak [u, v, w] doğrusal hız bileşenleri elde edilir. Hava aracının doğrusal hızı;

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = S \begin{bmatrix} u \\ v \\ w \end{bmatrix}; V = [u \ v \ w]^T \quad (2)$$

Hava aracı üzerine etkiyen kuvvet, açısal hız ve çizgisel hızlarla ilişkilidir.

$$\vec{F} = m \frac{dv}{dt} \quad \vec{F} = m (\vec{V}^B + \vec{\Omega}^B x \vec{V}^B) \quad (3)$$

$$\vec{F} = m \left( \begin{bmatrix} \dot{u} \\ \dot{v} \\ \dot{w} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} p \\ q \\ r \end{bmatrix} x \begin{bmatrix} u \\ v \\ w \end{bmatrix} \right) \quad (4)$$

### 2.2.2 Açısal Dinamik Hareket

Sistemin açısal hareketleri, eksenler etrafındaki kuvvet farklarından oluşur. Kuvvet farkları momentleri oluşturur, bunlar  $M_x, M_y, M_z$  dir. Euler açılarının türevi, açısal hızı ve bunların türevi açısal ivmeyi verir [12].

$$M = I\alpha \quad (5)$$

Euler açıları ile açısal hız arasında Eşitlik 6'da ilişkilendirildi. Hava aracının açısal hızı;

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \phi \\ \theta \\ \varphi \end{bmatrix} = S \begin{bmatrix} p \\ q \\ r \end{bmatrix}; \omega = [p \ q \ r]^T \quad (6)$$

Hava aracının açısal ivmesi;

$$M = I \frac{d}{dt} \omega \Rightarrow \begin{bmatrix} \dot{p} \\ \dot{q} \\ \dot{r} \end{bmatrix} = \frac{M}{I} \quad (7)$$

Kütle merkezine uygulanan hava aracının dinamiği Newton-Euler formalizmi Eşitlik 8'de verildi.

$$\begin{bmatrix} mI_{3x3} & 0 \\ 0 & I \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{V} \\ \dot{\omega} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \omega x m V \\ \omega x I V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F \\ M \end{bmatrix} \quad (8)$$

Aerodinamik kuvvetler ve momentler, momentum ve kanat elemanı teorisinden elde edildi.

$$F_i = \frac{1}{2} \rho A C_t (r \Omega_i)^2 \quad i=1,2,3,4 \quad (9)$$

Pervanenin alanını  $A$  ile, havanın yoğunluğunu  $\rho$  ile, aerodinamik katsayısı  $C_t$  ile, pervanenin yarıçapı  $r$  ile, pervanenin dönme hızı  $\Omega_i$  ile tanımlandı. Aerodinamik kuvvet pervane devir sayısı ve pervane yarıçapının çarpımının karesi ve diğer katsayılarından elde edilen  $b$  katsayısının çarpımından elde edilir.

$$F_i = b \omega_i^2; i = 4 \quad (10)$$

Pervane ve rotorun açısal hızının karesi ve moment katsayısı  $d$ 'den pervanelerin ürettiği sürüklenme momenti elde edilir.

$$T_i = d \omega_i^2; i=4 \quad (11)$$

Döner kanatlı hava aracı dört rotor ve pervaneye sahiptir, toplam kuvvet itkiyi verir,  $U_1$  ile tanımlanır.

$$\text{İtki:} \quad U_1 = b(\omega_1^2 + \omega_2^2 + \omega_3^2 + \omega_4^2) \quad (12)$$

Rotorların farklı dönüş hızları neticesinde yuvarlanma, yunuslama ve sapma hareketlerini gerçekleştirir,  $U_2, U_3, U_4$  ile tanımlanır.

$$\text{Yuvarlanma:} \quad U_2 = b/\sqrt{2}(-\omega_1^2 + \omega_2^2 + \omega_3^2 - \omega_4^2) \quad (13)$$

$$\text{Yunuslama:} \quad U_3 = b/\sqrt{2}(\omega_1^2 - \omega_2^2 + \omega_3^2 - \omega_4^2) \quad (14)$$

$$\text{Sapma:} \quad U_4 = d(\omega_1^2 - \omega_2^2 - \omega_3^2 - \omega_4^2) \quad (15)$$

### 2.3. Sistem Kontrol

İtme ve sürüklenme katsayılarının sabit olduğu ve hava aracı havada asılı pozisyonda kabul edilerek kontrol tasarımının modeli basitleştirildi. Sistem, durum uzayı biçiminde  $U$  giriş vektörü ve  $X$  durum vektörü ile  $\dot{X} = f(X, U)$  yazılabilir[15].

$$X = [\phi \ \dot{\phi} \ \theta \ \dot{\theta} \ \varphi \ \dot{\varphi} \ z \ \dot{z} \ x \ \dot{x} \ y \ \dot{y}] \quad (14)$$

$x_1 = \phi$	$x_7 = z$
$x_2 = \dot{x}_1 = \dot{\phi}$	$x_8 = \dot{x}_7 = \dot{z}$
$x_3 = \theta$	$x_9 = x$
$x_4 = \dot{x}_3 = \dot{\theta}$	$x_{10} = \dot{x}_9 = \dot{x}$
$x_5 = \varphi$	$x_{11} = y$
$x_6 = \dot{x}_5 = \dot{\varphi}$	$x_{12} = \dot{x}_{11} = \dot{y}$

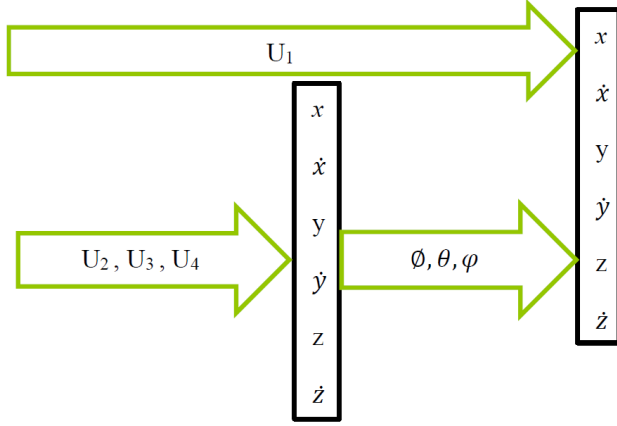
$$U = [U_1 \ U_2 \ U_3 \ U_4]^T \quad (15)$$

$$\begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \\ U_3 \\ U_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b & b & b & b \\ -lb/\sqrt{2} & lb/\sqrt{2} & lb/\sqrt{2} & -lb/\sqrt{2} \\ lb/\sqrt{2} & -lb/\sqrt{2} & lb/\sqrt{2} & -lb/\sqrt{2} \\ d & d & -d & -d \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_1^2 \\ \omega_2^2 \\ \omega_3^2 \\ \omega_4^2 \end{bmatrix} \quad (16)$$

Eğer havada askıda iken bozulmalar küçükse euler açılarının değişim oranı  $(\dot{\phi}, \dot{\theta}, \dot{\varphi})$  ve gövde açısal hızları  $(p, q, r)$  arasındaki dönüşüm matrisi, bütünlük matrisi olarak kabul edilebilir ve  $(\dot{\phi}, \dot{\theta}, \dot{\varphi}) \approx (p, q, r)$  yazılabilir.

$$f(X, U) = \begin{pmatrix} \dot{\phi} \\ \dot{\phi} \phi (I_{yy} - I_{zz}) / I_{xx} + \dot{\phi} J_r \Omega_r / I_{xx} + U_2 / I_{xx} \\ \dot{\theta} \\ \dot{\theta} \theta (I_{zz} - I_{xx}) / I_{yy} - \dot{\theta} J_r \Omega_r / I_{yy} + U_3 / I_{zz} \\ \dot{\varphi} \\ \dot{\varphi} \theta (I_{xx} - I_{yy}) / I_{zz} + U_4 / I_{zz} \\ z \\ g - (\cos \phi \cos \theta) \frac{1}{m} U_1 \\ \dot{x} \\ (\cos \phi \sin \theta \cos \varphi + \sin \phi \sin \varphi) \frac{1}{m} U_1 \\ \dot{y} \\ (\cos \phi \sin \theta \sin \varphi - \sin \phi \cos \varphi) \frac{1}{m} U_1 \end{pmatrix} \quad (17)$$

Sistem, serbestlik derecesi sayısının sistemin girdilerinden daha fazla olan bir sistemdir. Dört rotorlu hava aracı altı serbestlik derecesine sahiptir ancak sadece dört rotoru vardır. Bu nedenle, iki serbestlik derecesi diğerlerine bağlıdır. Yuvarlanma ve yunuslama açısı değiştirildiğinde, itme vektörünün yatay bir bileşeni elde edilir, bu da sistemi X - Y düzleminde hareket ettirmeyi mümkün kılar.

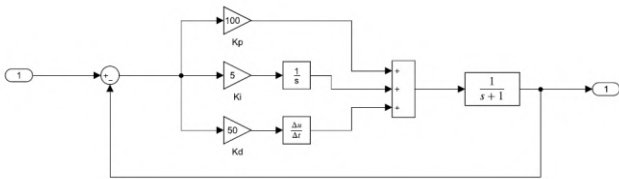


Şekil 7. Dört Rotorlu Hava Aracının Dinamikleri

## 2.4. PID Denetimi

Hava aracının havadayken maruz kaldığı gürültüler ve komutların istenilen hareketleri gerçekleştirmesi için kontrolcüye ihtiyaç vardır. Kararsız ve doğrusal olmayan sistemdir. Kontrolü için PID kontrolcü tercih edildi. Sistemin kalıcı durum tepkisine ve geçici durum tepkisine etkili olduğu ve bunu PID, hata sinyalini işleyerek yeni bir sinyal üretir, sağlar. Oransal, sistemin hata sinyalini güçlendirip zayıflatır. İntegral, sistemin cevabını yavaşlatır. Türev ise değişim ile ilgilidir, geçici durum tepkisini kısaltır [15].

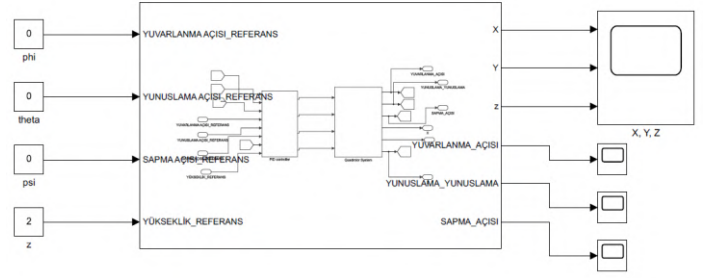
Doğrusal olan ve doğrusal olmayan sistemler için etkili bir denetleyicidir. Bilinmeyen ve matematiksel olarak modellenemeyen sistemleri, sadece denetleyicideki katsayıları ayarlanarak denetlenebilir hale getirilmesini sağlar. PID denetleyicisinin yapısı ve denetim kuralı Şekil 8' de verildi.



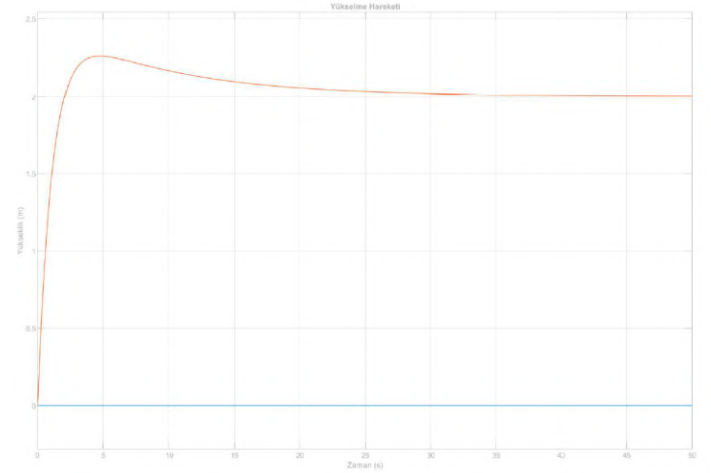
Şekil 8. PID Yapısı

### 2.4.1 Yükseklik Denetimi

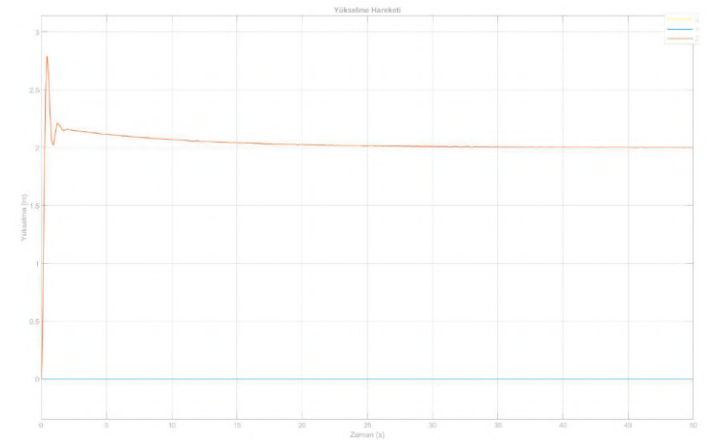
Döner kanatlı hava aracı arzu edilen yüksekliğe ulaşana kadar rotorların dönüş hızları denetleyiciden gönderilen sinyaller tarafından kontrol edilir. Eşitlik 18'de yükselme ve havada asılı kalma ile ilgili durum MATLAB programında incelendi. Hava aracı yükseklik kontrolünde PID kontrolcü kullanıldı. P=50 hava aracının hızlı bir şekilde yükselmesini sağladı. I=5; hava aracının belirlenen yüksekliğe yaklaştıkça daha yavaş hareket etmesini ve dengede kalmasını sağladı. D=50; hava aracının yükselme sırasında oluşacak hız değişimlerini ve kontrol kaybının önlenmesini sağladı.



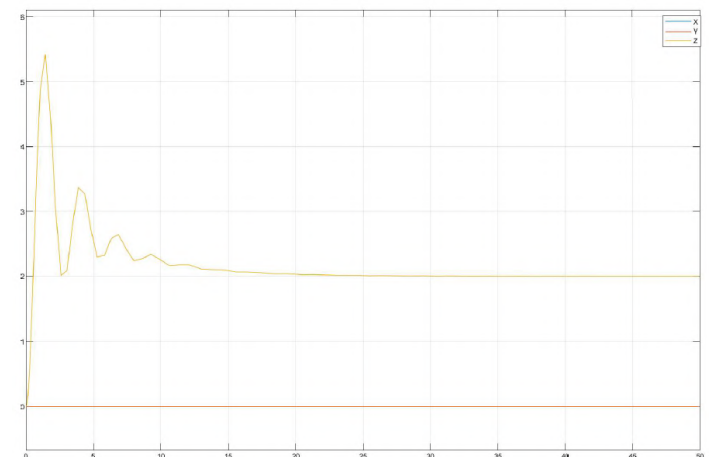
Şekil 9. Kontrolcü Blok Diyagramı



Şekil 10. Yükseklik Hareketlenme Simulasyon Sonuçları (P=50, I=5, D=50)



Şekil 11. Yükseklik Hareketlenme Simulasyon Sonuçları (P=50, I=5, D=5)



Şekil 12. Yükseklik Hareketlenme Simulasyon Sonuçları ( $P=5$ ,  $I=1$ ,  $D=1$ )

### 3. Sonuçlar

Bu çalışmada döner kanatlı dört rotorlu hava aracının dinamikleri incelendi. Bir PID kontrolcü, asılı uçarken hava aracına iyi adapte olduğu simülasyon çalışmalarında doğrulandı. O. Köse ve T. Oktay'ın çalışmasında yükseklik kontrolü için kullanılan PID katsayıları; [50,5,50] verilmiştir[14]. Bu çalışmada da elde edilen scope verisi (Şekil 10) eşdeğer veriler elde edilmiştir. Farklı PID değerlerinden elde edilen veriler paylaşıldı (Şekil 11-12). PID denetleyicisi, hava aracını havada asılı kaldığında ve atmosferik gürültülerin olmadığı durumlarda kontrol edebildi. P değeri sabit ve diğer değerlerin değiştirilmesi farklı sonuçlara sebep oldu. I'nın farklı değerlerde aşım ve yerleşme zamanı arttığı ve yükselme zamanı azaldığı görüldü. D'nin farklı değerlerde aşım ve yerleşme zamanı azaldığı görüldü.

Hava aracının kolları arasındaki kesişim açısının değişmesi ile yanal daralma sonucunda X1 (Kesişim açısı  $90^\circ$ )'den X2 (Kesişim açısı  $45^\circ$ ) konfigürasyona geçişi sağlandı. Z ekseninde hareket, eşitlik 12'de verilen itki denkleminde doğrusal hareket gerçekleştirmektedir. Yükselme süresi ve oturma süresi yaklaşık değerler elde edildi. Şekil değişikliğinin simülasyon çıktılarında herhangi bir değişikliğe sebep olmadığı görülmektedir. Simülasyon çalışması rüzgar hızının olmadığı ortamda gerçekleştirildi. Gelecek çalışmalarda hava aracının konfigürasyon değişimlerinde ileri hareket ve yanal hareket incelenecektir.

### Kaynakça

- [1] Desbines, A., Expert, F., Boyron, M., Dipert, J., Viollet, S., Ruffier, F. (2017). X-Morf: A crash-separable quadrotor that morphs its X-geometry in flight. *2017 Workshop on Research, Education and Development of Unmanned Aerial Systems (RED UAS)*
- [2] Falanga, D., Kleber, K., Mintchev, S., Floreano, D., Scaramuzza, D. (2018) The Foldable Drone: A Morphing Quadrotor that can Squeeze and Fly. *IEEE Robotics And Automation Letters*. Preprint Version. Accepted November, 2018
- [3] Bai, Y., Gururajan, S. (2019). Evaluation of a Baseline Controller for Autonomous "Figure-8" Flights of a Morphing Geometry Quadrotor: Flight Performance. *Drones* 2019, 3, 70
- [4] Di Luca M, Mintchev S, Heitz G, Noca F, Floreano D. (2017). Bioinspired morphing wings for extended flight envelope and roll control of small drones. *Interface Focus* 7: 20160092.
- [5] Prisacariu, V., Sandru, V., & Rău, C. (2011). Introduction morphing technology in unmanned aircraft vehicles (UAV). Paper presented at the International Conference of Scientific Paper, AFASES.
- [6] Oktay, T., & Sal, F. (2016). Combined passive and active helicopter main rotor morphing for helicopter energy save. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 38(6), 1511-1525
- [7] T.Oktay and K. Oğuz, "Non Simultaneous Morphing System Design for Yaw Motion in Quadrotors," *Journal of Aviation*, vol. 3, no. 2, pp. 81-88, 2019.

- [8] O. Kose and T. Oktay, "Dynamic Modeling and Simulation of Quadrotor for Different Flight Conditions," *European Journal of Science and Technology*, no. 15, pp. 132-142, 2019
- [9] O. Köse and T. Oktay, "Non Simultaneous Morphing System Design for Quadrotors," *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, no. 16, pp. 577-588, 2019.
- [10] J. Zhang, J. Feng, B. Zhou. Sensor-Fusion-Based Trajectory Reconstruction for Quadrotor Drones
- [11] Pamadi B. (2004) Performance, stability, dynamics, and control of airplanes. Reston, VA: AIAA.
- [12] B. L. Stevens, F. L. Lewis(2003). Aircraft control and simulation, Third Edition. J. Wiley, New Jersey, 2003.
- [13] K. Nonami, F. Kendoul, S. Suzuki, W. Wang, D. Nakazawa.(2010) Autonomous Flying Robots. Springer Tokyo Dordrecht Heidelberg London New York
- [14] Köse, O., Oktay, T. (2021) İnovatif Yöntemlerle Kuadrokopter Modellenmesi, Kontrolü Ve Gerçek Zamanlı Uygulamaları. Doktora Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, KAYSERİ, 2021
- [15] Randal W. Beard. (2015). Quadrotor Dynamics and Control. Brigham Young University. February 19, 2008
- [16] Robert C. Leishman, John Macdonald, Randal W. Beard, Timothy W. McLain. Quadrotors & Accelerometers State Estimation with an Improved Dynamic Model. *IEEE Control Systems Magazine*. February 2014



# Enerji Tasarruflu Döner Mil Keçelerinin Sonlu Elemanlar Analizi ile İncelenmesi

Hasan Kasım<sup>1\*</sup>, Barış Engin<sup>2</sup>, İsmail Saraç<sup>3</sup>, Murat Yazıcı<sup>4</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: 0000-0002-3445-9843), [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)

<sup>4</sup> Bursa Uludag University, Faculty of Engineering, Department of Automotive Engineering, Bursa, Turkey, (ORCID: 0000-0002-8720-7594), [myazici@uludag.edu.tr](mailto:myazici@uludag.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 1 Temmuz 2021 ve Kabul Tarihi 9 Eylül 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.960207)

**ATIF/REFERENCE:** Kasım, H., Engin, B., Saraç, İ. & Yazıcı, M. (2021). Enerji Tasarruflu Döner Mil Keçelerinin Sonlu Elemanlar Analizi ile İncelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (27), 325-333.

## Öz

Bu çalışmada yüksek devir ve sıcaklıklarda çalışabilen yeni nesil elektrikli araçların güç aktarma organlarında kullanılmak üzere prototipi üretilen, kauçuk malzeme esaslı Enerji Tasarruflu Döner Mil Keçelerinin(ERS) statik yükleme durumundaki radyal kuvvet, temas eden tırtıl sayısı ve temas yüzeylerinin durumu deneysel ve Sonlu Elemanlar Analiziyle (FEA) incelenmiştir. ERS'lerin dayanım ömrünü etkileyen radyal kuvvet için yapılan deneysel ölçümler ile FEA sonuçları arasında %9'a kadar bir fark görülmüştür. Kauçuk malzeme testlerinden elde edilen veriler, Abaqus sistemi ile eşleştirilerek Mooney-Rivlin malzeme katsayı değerleri hesaplanmıştır. Hazırlanan FEA prosedürü sayesinde de sızdırmazlık elemanının montajı sırasındaki hareketi, reaksiyon kuvveti, dudakta meydana gelen diğer değişimler rahatlıkla gözlenmiştir. Temas eden tırtıl sayıları her iki çalışma içinde aynı olup, temas yüzeyleri arasında %2'lik bir sapma değeri elde edilmiştir. Bu şekilde, sızdırmazlık elemanlarının tasarlanması doğru malzeme tanımlamasına bağlı, prototip ihtiyacı duyulmadan sonlu elemanlar analizi ile zaman kazandıran alternatif bir yöntem geliştirilerek kullanılabileceği görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Döner Mil Keçeleri, Sonlu Elemanlar Analizi, Hiperelastik Malzeme Modelleri, Kauçuk, Enerji Tasarruflu Keçe

## Investigation of Energy Saving Rotary Shaft Seals by Finite Element Analysis

### Abstract

In this study, radial force, number of contacting caterpillars, and contact surfaces of rubber material-based Energy-Saving Rotary Shaft Seals (ERS), which are prototyped to be used in powertrains of new generation electric vehicles that can operate at high speeds and temperatures, were analyzed by experimental and Finite Element Analysis (FEA) was studied. A 9% difference was found between the experimental test results for the radial force, which affects the endurance life of ERSs, and the FEA results. The data obtained from the rubber material tests were matched with the Abaqus system, and the Mooney-Rivlin material coefficient values were calculated. Thanks to the prepared FEA procedure, the movement of the sealing element during the assembly, reaction force, and other changes in the lip were easily observed. The number of lips in contact was the same in both studies, and a deviation of 2% was obtained between the contact surfaces. In this way, it has been seen that the design of sealing elements can be used by developing an alternative method that saves time with finite element analysis without the need for a prototype, depending on the correct material definition.

**Keywords:** Rotary Shaft Seals, Finite Element Analysis, Hyperelastic Material Models, Rubber, Energy Saving Seal

\* Sorumlu Yazar: [hasankasim@emsaglobal.com](mailto:hasankasim@emsaglobal.com)



## 1. Giriş

Sabit haldeki bir yuva ile dönen bir mil arasında sızdırmazlık sağlamak için kullanılan makine elemanları genel tabirle döner mil keçesi olarak bilinirler (Rotary Shaft Seal). İsimlendirilmeleri ise kullandıkları yere göre yapılır (tekerlek keçesi, şanzıman keçesi, krank keçesi gibi). Döner mil keçeleri en kritik makine elemanlarından biridir. Her türlü otomotiv ve enerji santrali makineleri, endüstriyel pompalar, uçak gazı türbinleri, güç üretim türbinleri ve büyük endüstriyel ve boru hattı kompresörleri dahil olmak üzere çeşitli endüstriyel uygulamalara sahiptirler (Johnston ve ark., 1984). Döner mil keçesinin temel işlevi hareketli bir milin makinenin bir bölümünden diğerine geçtiği veya bir makine muhafazasından geçtiği basınçlı sıvıları ayırmaktır. Ayrıca, bir çalışma bölgesine yabancı parçacıkların girişini veya yağ kaybını önlemek için de şanzımanlarda ve rulmanlarda kullanılırlar.

Döner mil keçesi ve mil yüzeyi arasındaki tam temas mükemmel sızdırmazlık sağlasa da yüksek sürtünme ve yüksek aşınma oranı nedeniyle kabul edilemez. İyi tasarlanmış döner mil keçeleri, hareketli yüzeyde ince akışkan bir film oluşturarak düşük sürtünme ve düşük aşınma oranı ile kabul edilebilir derecede düşük bir sızıntı seviyesi temin ederler.

Standart döner mil keçesi metal bir destek ve elastomer bir dudağa sahiptir. Döner mil keçelerinin dudakları yaysız veya yay yüklü olabilir. Döner mil keçesi ile mil arasında ön yüklemeye yapmak için kullanılan yay, *Garter Yay* olarak isimlendirilir.

Bugün dünyada yaygın kullanım alanı bulan dudaklı döner mil keçeleri 4 ana grupta incelenebilir:

1. *Elastomerik Dudaklı Keçe*: Döner millerde akışkanların içeriye veya dışarıya çıkışını önlemek amacıyla kullanılır.
2. *PTFE / Plastik Keçe*: Elastomer keçelere alternatif olarak özellikle yağlamanın mevcut olmadığı kuru sürtünmeli uygulamalarda ve ısı direnç ile kimyasal dayanım gereken yerlerde kullanılır.
3. *Düşük Sürtünmeli Keçeler*: Elastomerik veya PTFE keçelerin daha ileri ve özel uygulamalarında kullanılırlar.
4. *Yatak/Rulman Keçeleri*: Dudaklı keçelerden türetilmekle birlikte genellikle düşük yükler fakat aşırı kirli ortamlarda kullanılırlar.

Günümüzde keçelerle ilgili yapılan çalışmalar okadar ileri seviyelere gelmiştir ki artık bu keçelerin özellikleri ve davranışları matematiksel olarak hesaplanabilir ve öngörülebilir hale gelmiştir. Elastomer malzemelerin matematiksel hesaplamalarında kullanılması için hiperelastik malzeme modelleri geliştirilmiştir. En yaygın olarak kullanılanlar polinom formları (veya Rivlin serisi), Ogden ve Neo-Hookean modelleridir. Her iki form için de malzeme modelinin kararlılığı sorusu dikkate alınmalıdır. Elastomer bileşenlerin FEA hesaplamalarında, hiperelastik malzemenin doğrusal olmayan malzeme davranışı, sonuçları önemli ölçüde etkiler (Bien-aimé ve ark., 2020), (Kim ve ark., 2012). Bu nedenle, simülasyonlardan arıza ve ömür tahminleri açısından güvenilir sonuçlar elde etme yeteneği, genel üç boyutlu gerilme ve deformasyon durumları için malzemenin davranışının kesin modellenmesine dayanmaktadır (Bhandari ve ark., 2007). Yapılan malzeme testlerinden elde edilen veriler kullanılarak hesaplama modellerinden en uygunu seçilmelidir (Li ve ark., 2002). Metaller ve plastikler için tipik malzeme özelliklerini tanımlamaya kıyasla, elastomerlerin davranışını modellemek çok daha karmaşık bir iştir. Aşağıdaki

fiziksel ve kimyasal olaylar, Şekil 1'de gösterildiği gibi simülasyon içinde dikkate alınmalıdır.



Şekil 1. Elastomer malzeme davranış modelleri

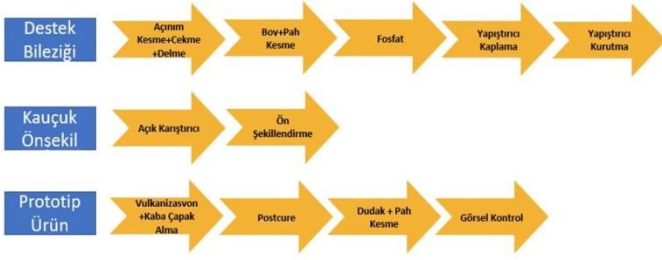
Araştırmacılar, çok karmaşık çalışma fenomeni ve kritik makine elemanı olması nedeniyle döner mil keçelerini Sonlu Elemanlar Analizi (FEA) ile incelemiştirler (Zhang ve ark., 2019), (Starostin ve ark., 2020). Sızdırmazlık ve yük taşıma performansı açısından C tipi bir sızdırmazlık elemanı Abaqus isimli FEA yazılımı ile incelenerek sızdırmazlık performansını etkileyen temel parametreler ve tolerans aralıkları tespit edilmiştir (Zhou ve ark., 2015). Yuan ve arkadaşları çözüm süresinde kazanç sağlamak adına iki boyutlu aksel simetrik model kullanarak sonlu elemanlar modelini kurmuşlardır. Bu modellerinde döner mil keçelerinde kullanılan kauçuk esaslı malzemeleri tanımlamak için Mooney-Rivlin malzeme modelinden yararlanmışlardır. Keçelerin sızdırmazlık yüzeylerinin zorlanma durumundaki aksel hareketten kaynaklanan tepki kuvveti ve sürtünme durumunu tespit etmek için explicit FEA yöntemi ile non-linear malzeme modeli kullanılmıştır (Calonius ve ark., 2005).

Bu çalışmada enerji tasarruflu döner mil keçesinin (ERS) statik yüklemeye durumundaki radyal kuvvet, temas eden tirtıl sayısı ve temas yüzeyi hem deneysel hem de FEA modelleri ile incelenmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Malzeme

Esnek ve dayanıklı yapısıyla öne çıkan kauçuk doğal bir madde olup endüstriyel uygulamalarda ve günlük hayatımızda geniş bir kullanım alanı bulmaktadır. Kauçuklar ısıtıldıkça yumuşar, süreye bağlı olarak vulkanize olarak ifade edilen çapraz bağlanma işlemi ile sertleşir. Düşük elektrik iletkenliğine sahip olduğu için yalıtım-izolasyon malzemesi olarak da kullanılır (Azura ve ark., 2019). Kauçuk çeşitleri şu şekildedir: Tabii kauçuk (NR), Stiren Bütadien Kauçuk (SBR), Kloropren Kauçuk (CR, Neopren), Nitril Kauçuk (NBR), EPDM Kauçuk (EPDM), Hypalon Kauçuk (CSM), Silikon Kauçuk (VMQ), Viton Kauçuk (FKM), ECO Kauçuk (CO/ECO) (Li ve ark., 2016). Prototip keçe üretiminin iş akış şeması Şekil 2'de verilmiştir.



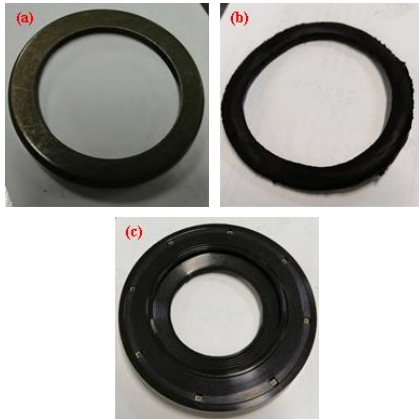
Şekil 2. Keçe üretimi iş akış şeması

Bu çalışma kapsamında hazırlanan kauçuk formülasyonu Tablo 1’de gösterilmiştir. Kauçuk karışımındaki maddelerin oranını ifade etmek için yüz birim kauçuğa denk gelecek şekilde ‘phr’ olarak ifade edilen oranlama metodu kullanılmıştır. Hazırlanan karışım içerisinde iki farklı polimer tipi bulunmakta olup SKT A.Ş, Türkiye’den temin edilmiştir. Karışımında kullanılan dolgu maddeleri (ortalama parçacık boyutu 25-35 nm, harici yüzey alanı 80 m<sup>2</sup>/g), Macrochem SA, Polonya’dan satın alınmıştır. Aktivatörler, pişiriciler ve diğer tüm bileşenler piyasadan temin edilebilen ticari ürünlerdir. Kauçuk karışımları SKT A.Ş’nin üretim hattındaki kapalı ve açık karıştırıcılar yardımıyla hazırlanmıştır.

Tablo 1. Hazırlanan kauçuk karışımına ait formülasyon

Parametre	Miktar (phr)
Polimer 1	70
Polimer 2	30
Dolgu	50
Aktivatör	4
Yağ	10
Pişirici 1	1
Pişirici 2	2

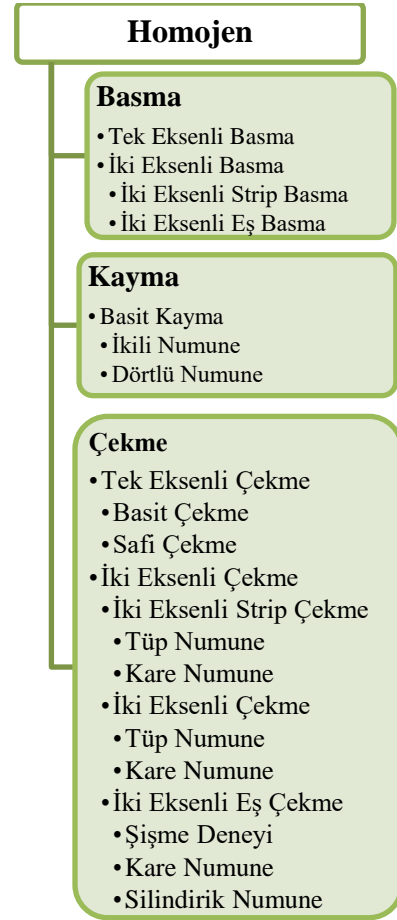
Karışımlara ait vulkanizasyon eğrileri, 6 dakika boyunca 170 °C’de Alpha Technologies MDR 23000 marka bir reometre test cihazı vasıtasıyla tespit edilmiştir. Mekanik testlerde kullanılacak test numuneleri elektrik ile ısıtılan 40 tonluk hidrolik bir laboratuvar presinde, 165 °C’de 10 dk. süreyle vulkanize edilerek hazırlanmıştır. Vulkanize edilen test plakaları, 23±2 °C sıcaklığında, %50±%5 bağıl nemde (ASTM D412), 18 saat süre boyunca iklimik ortamda bekletilmiştir. Prototip keçe numunesi için metal destek bileziği, ön şekillendirilmiş kauçuk malzemeler kalıpta vulkanize edilerek hazırlanmıştır. Şekil 3’te mamul ve yarı mamul ürünlere ait fotoğraflar gösterilmiştir.



Şekil 3. (a) Destek bileziği, (b) Ön şekillendirilmiş Kauçuk, (c) Prototip keçe

## 2.2. Malzeme Testleri

Bir cisme bir dış kuvvet uygulanması sırasında üzerindeki noktalar yer değiştirmesine deformasyon adı verilmektedir. Cisim deformasyona uğrarken asal ekseninde bir bozulma olmuyorsa bu duruma Dönmesiz (Saf) Deformasyon denir. Kauçuk malzemelerle yapılan testlerde, numunenin dönmesiz homojen deformasyona maruz kalması sağlanır. Bu sayede ölçümler daha kolay bir şekilde yapılabilmektedir (Vahapoğlu, 2013). Şekil 4’te kauçuk mekaniğinde yapılan testler gösterilmiştir. Elastomerik malzemeler modellenirken genellikle davranış elastik, malzeme izotropik ve katı elastomerler için malzeme yaklaşık olarak sıkıştırılmaz üzere çeşitli varsayımlar yapılır (Keerthiwanasa ve ark., 2018). Kauçuklar üzerinde sıklıkla basma ve çekme şeklinde iki tipte test gerçekleştirilir. Basma durumu her zaman tek eksenli iken, gerilim tek eksenli, düzlemsel veya eş eksenli bir şekilde uygulanabilir (Dalrymple ve ark., 2007).



Şekil 4. Kauçuk mekaniğinde yapılan deneyler (Vahapoğlu, 2013)

## 2.3. Çekme Testleri

Çekme testleri basit ve kolay uygulanabilir olmaları sebebiyle kauçuk malzemelerin mekanik özelliklerini belirlemede en yaygın kullanılan testlerdir. Numuneye uygulanan kuvvete göre tek eksenli ve iki eksenli olmak üzere iki çeşidi vardır. Kauçuk malzemeler çekme ve basma durumlarında farklı mekanik davranışlara sahiptirler. Bu sebeple yalnızca çekme deneyi yapmak mekanik özellikler konusunda yeterli bilgiyi vermemektedir (Abdullah, 2020). Yapılan çalışmada tek eksenli, çift eksenli, kare formundaki numunenin çift eksenli çekme deneyi, tek eksenli basma deneyi ve kayma deneylerinden

elde edilen MS Excel dataları FEA yazılımında veri girişinde kullanılmıştır.

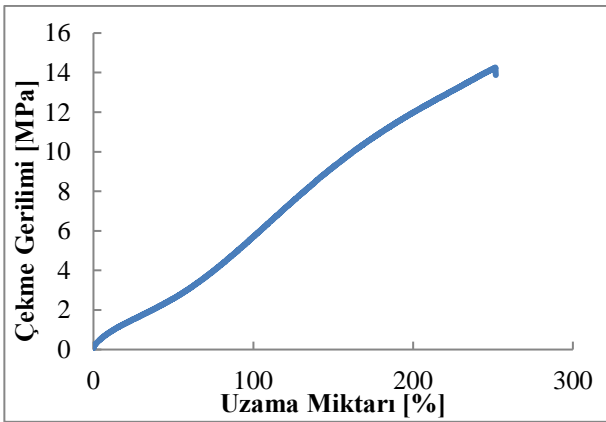
### 2.3.1 Tek Eksenli Çekme Testleri

Tek eksenli çekme deneyleri metal malzemelerin özelliklerini belirlemek için yeterli olup kullanımı çok yaygın olmakla birlikte kauçuk malzemelerin çekme ve basma durumlarında farklı mekanik davranışlara sahip olmalarından kauçuk malzemeler için yeterli değildir (Sasso ve ark., 2008). İki uçtan sıkılan mengenerlerin arasındaki mesafe, numunenin çekme boyu olarak kabul edilir. Mengenerlerde sıkılan kısımlar dikkate alınmaz. İlk çevrimlerde numunenin özelliklerinde ciddi değişimler gözlenir. Buna "Mullin etkisi" denir (Freitas, 2009). Malzemenin özelliklerinin stabilleşme 3-20 arasında bir çevrim sayısında elde edilir (Erkek ve ark., 2015). Çalışma kapsamında Şekil 5'de gösterilen deney düzeneğinde tek eksenli çekme testleri yapılmıştır.



Şekil 5. Tek eksenli deney düzeneği

Çalışma kapsamında 6 adet numune üzerinden tek eksenli çekme deneyi yapılmıştır. Yapılan altı ölçümden elde edilen sonuçlar değerlendirilmiş ve sonuçların stabil olduğu görülmüştür. Elde edilen test sonuçları Şekil 6'da verilen grafikte gösterilmiştir.



Şekil 6. Tek eksenli çekme testi sonuç grafiği

### 2.3.2 Çift Eksenli Çekme Testleri

Tek eksenli çekme deneylerinde  $I_1$  ve  $I_2$ 'nin incelenmesi mümkün olmamaktadır. Bu sebeple kauçuk malzemelere çift eksenli çekme deneyi yapılması gerekmektedir. Çift eksenli

çekme deneyleri kare formunda numune ve ince cidarlı tüp numune olmak üzere iki farklı numune çeşidiyle yapılmaktadır. (Fujikawa ve ark., 2014). Çalışma kapsamında kare formunda kenarı 4 birim olan numuneye 1 ve 2 doğrultularında  $F_1$  ve  $F_2$  kuvvetleri uygulanır. Bu kuvvetlerin etkisinde numune  $\lambda_1$  ve  $\lambda_2$  son boya ulaşmaktadır.

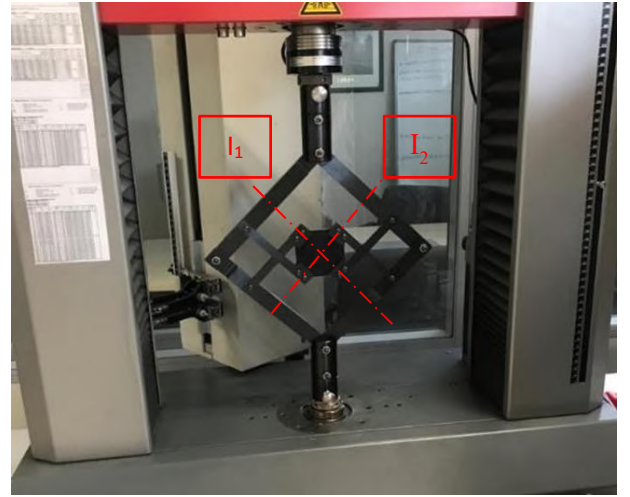
$$\sigma_1 = \frac{F_1}{A_0} \quad \lambda_1 = \lambda_1 \quad (1)$$

$$\sigma_2 = \frac{F_2}{A_0} \quad \lambda_2 = \lambda_2 \quad (2)$$

$A_0$ , kuvvetin uygulandığı ilk kesit alanıdır. Sıkıştırmazlık kanununa göre numunenin kalınlığının değişimi denklem 3'de gösterildiği şekilde bulunur.

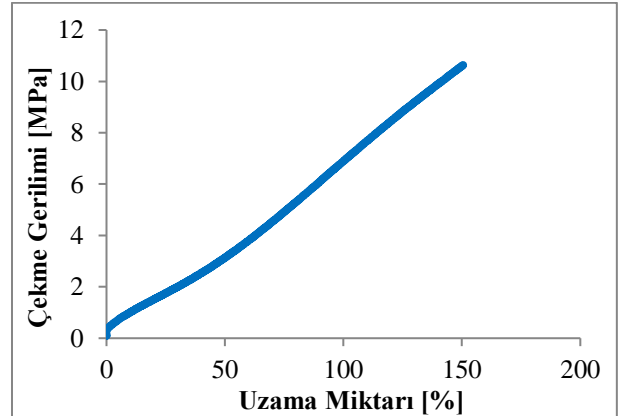
$$\sigma_3 = 0 \quad \lambda_3 = \frac{1}{\lambda_1 \lambda_2} \quad (3)$$

Kuvvetler  $\lambda_1 = \lambda_2$  veya  $\lambda_1 = \lambda$  ve  $\lambda_2 = 1$  şeklinde uygulanır. Çift eksenli çekme deney düzeneği Şekil 7'de gösterilmiş olup, deneyler 6 adet numune kullanılarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 7. Kare formundaki numuneye ait çift eksenli deney düzeneği

Yapılan testler sonucunda elde edilen veriler Şekil 8'de verilen grafikte gösterilmiştir.



Şekil 8. Çift eksenli çekme testinin sonuç grafiği

## 2.4. Basma Testleri

Numuneye uygulanan kuvvete göre tek eksenli basma ve iki eksenli basma olarak ikiye ayrılmaktadır. Temelde çekme testine çok benzemekte olup gerilmelerin hesaplanmasında çekme testindeki formüller kullanılır. Son uzunluk ilk uzunluktan kısa

olacağından birim şekil değiştirme negatif çıkar. Fakat bu negatiflik sadece yön belirtir (Kanzenbach ve ark., 2019).

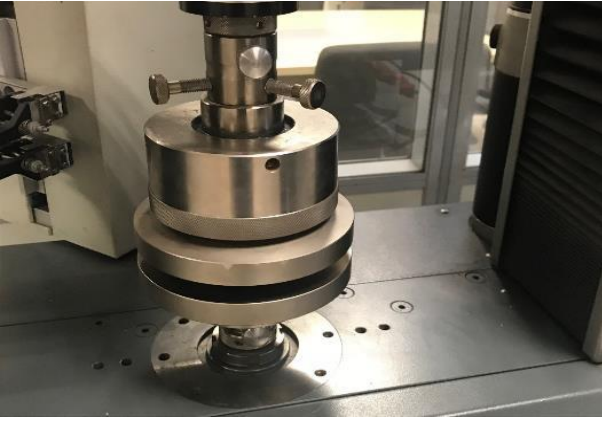
#### 2.4.1 Tek Eksenli Basma Deneyleri

Kauçuk malzemelerinin doğrusal olmayan davranışları sebebiyle mekanik özelliklerinin hem çekme hem de basma için belirlenmesi gerekmektedir. Tek eksenli basma testi olarak sadece basit basma deneyi vardır. Basit basma deneyleri kolay uygulanabilir bir deneydir. Silindirik numune metal plakalar arasında yerleştirilir. Metal plakalara, tek eksenli çekme makinesiyle eksenel kuvvet uygulanarak numune deformasyona uğrattılır (Huri ve ark., 2018).

$$\sigma_1 = \sigma \quad \sigma_2 = \sigma_3 = 0 \quad (4)$$

$$\lambda_1 = \lambda \quad \lambda_2 = \lambda_3 = \frac{1}{\lambda} \quad (5)$$

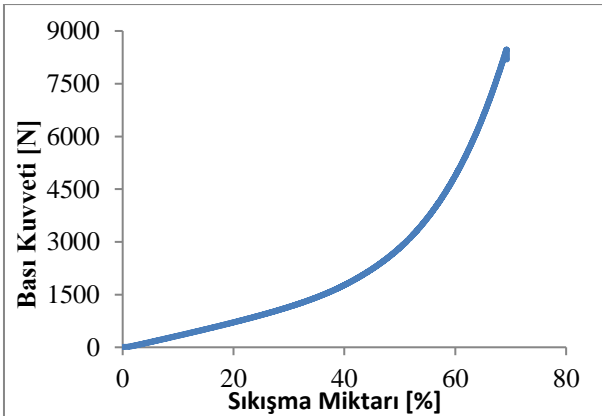
Tek eksenli basma deneyine ait deney düzeneği Şekil 9'da gösterilmiştir.



Şekil 9. Tek eksenli basma test düzeneği

Bu testte metal plakalar ile kauçuk numune arasında ihmal edilemeyecek seviyede sürtünme oluşur. Bu sebeple kauçuk malzemelerde basma testi yerine iki eksenli eş çekme deneyleri tercih edilmektedir. Sürtünme katsayısı 0.1 dahi olsa kayma şekil değişimi olmaktadır. Bu durum ise ölçüm sonuçlarında hatalara sebebiyet vermektedir. Sürtünmenin olumsuz etkisi yağlama yapılarak azaltılabilmektedir. (Xu ve ark., 2018).

Yapılan testler sonucunda elde edilen veriler Şekil 10'da verilen grafikte gösterilmiştir. Tek eksenli basma deneyi için 6 adet numune kullanılmıştır. Sonuçların kendi arasında değişkenliğine göre nominal değerlerde olan veriler sonlu elemanlar programına girilmiştir.



Şekil 10. Basma testi sonuç grafiği

#### 2.4.2 Kayma Deneyi

Literatürde kayma testi olarak basit kayma deneyi yapılmaktadır. Diğer deneylerden farklı şekilde sadece homojen bir deformasyon çeşididir. Uygulanan kuvvetin yönü, test sırasında asal eksenin sabit kalmamasına sebep olmaktadır. Bu durum, basit kaymada safi deformasyonun görülebilmesine neden olur. Kauçuk malzemelerde kayma testi, numune metal plakalar arasında yapıştırılmış halde yapılır. Bu metal plakalardan biri sabit tutulurken diğerine bulunduğu düzlemde kuvvet etki eder (Ismail ve ark., 2018), (Soltani ve ark., 2019).

$$\tau = \frac{F}{A} \quad (6)$$

$\tau$  kayma gerilmesi,  $F$  uygulanan kuvvet,  $A$  ise kuvvetin uygulandığı alandır. Kayma şekil değiştirmesi ise  $d$  kayma şekil değiştirmesi,  $t$  ise numune kalınlığı olmak üzere;

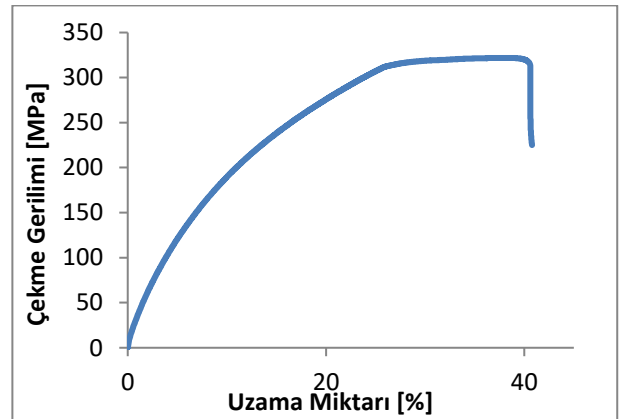
$$\gamma = \frac{d}{t} \quad (7)$$

şeklinde hesaplanır. Basit kayma deneyine ait deney düzeneği Şekil 11'de gösterilmiştir.



Şekil 11. Kayma testi düzeneği

FEA yazılımına veri oluşturulması adına 6 adet basit kayma testi yapılmıştır. Nominal olarak değerlendirilen test sonuçları sonlu elemanlar yazılım programına girilmiştir. Yapılan testler sonucunda elde edilen veriler Şekil 12'de verilen grafikte gösterilmiştir.



Şekil 12. Basit kayma testi sonuç grafiği

#### 2.5. Prototip Numune Testi

Prototip ürün ve sonlu elemanlar modelinin doğrulanması için iki adet test yapılması kararlaştırılmıştır. Bu testlerde keçe radyal kuvveti ve araldit dökümüyle oluşacak montaj görüntüsü seçilmiştir (Yang ve ark., 2020), (Yakovlev, 2019). Keçelerde oluşabilecek sürtünme kuvvetinin tespit edilebilmesi için radyal kuvvetin tespit edilmesi gerekmektedir. Firma bünyesinde radyal yük ölçüm test cihazı üretilmiş olup testler fiziksel olarak yapılmıştır.

İkinci bir doğrulama metodu olarak araldit dökümüyle oluşan montaj görüntüsü kontrol edilmiştir. Bu kontrolün amacı kaç tırtılın temas ettiği bilgisinin elde edilemesidir. Numune keçeler özel bir yuvada Ø40 ölçüsündeki mil ile pozisyon kontrolü yapılarak montaj edilmiş ve özel bir yapıştırıcı kullanılarak 24 saat bekletilmiştir. Montaj hızı maksimum 1mm/saniye olacak şekilde belirlenmiştir. Bu aşamadan sonra parça ortadan ikiye bölünerek dudak yapısı kontrol edilmiştir.

## 2.6. Keçe FEA Malzeme Modelinin Oluşturulması

Düşük elastikiyet modülü ve yüksek hacim modülü ile karakterize edilen kauçuk malzeme, çok çeşitli yapısal uygulamalarda kullanılmaktadır. Bu malzemeler genellikle büyük elastik birim şekil değiştirme ve küçük hacim değişikliği gösterir (neredeyse sıkıştırılabilir malzeme) ve "Hiperelastik malzeme" olarak adlandırılır. Birim şekil değiştirme bileşenlerine çekme gerilim deformasyonunun skaler bir fonksiyonu olan elastik birim şekil değiştirme yoğunluk fonksiyonu (W) varsa, bir malzemenin hiperelastik olduğu söylenir. Bu sebeple hiperelastik yapısal model hem doğrusal olmayan malzemeye hem de büyük deformasyona sahiptir. Model seçimi, malzemenin uygulamalarına, ilgili değişkenlere ve mevcut verilere göre belirlenir. Kullanılan hiperelastik modellerden bazıları ve çalışma birim şekil değiştirme aralıkları şöyledir (Kumar ve ark., 2016), (Kim ve ark., 2012):

- Mooney-Rivlin (Sıkıştırmada %30, gerilmeye %200)
- Ogden (%700)
- Neo-Hookean (%30)

### 2.6.1 Mooney-Rivlin Modeli

Bu modelde belirli miktarda birim şekil değiştirme için gerilme durumu, birim şekil değiştirme enerjisi yoğunluğunun türevleri olarak belirlenir. Birim şekil değiştirme enerji yoğunluğu fonksiyonu şu şekilde:

$$W(I_1, I_2) = \sum_{ij=0}^{n \rightarrow \infty} (C_{ij} (I_1 - 3)^i (I_2 - 3)^j) \quad (8)$$

$$W = C_1 (\bar{I}_1 - 3) + C_2 (\bar{I}_2 - 3) \quad (9)$$

$$W = W(\bar{I}_1, I_2, J) = W(\bar{I}_1, \bar{I}_2) + U(J) \quad (10)$$

karşılık gelen İkinci Piola Kirchhoff gerilimi ise şu şekilde verilir:

$$\bar{S} = \frac{\partial W(\bar{I}_1, \bar{I}_2)}{\partial E} \quad (11)$$

Mooney-Rivlin modelinin malzeme sabitlerinin doğrusal elastik kayma modülü G ile ilişkili olduğu doğrulanmıştır ve G aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$G = 2(C_1 + C_2) \quad (12)$$

### 2.6.2 Ogden Modeli

Bir Ogden modeli, kauçuk veya polimer gibi malzemelerin doğrusal olmayan gerilme-birim şekil değiştirme davranışını tahmin etmek için kullanılabilen hiperelastik bir malzeme modelidir. Ogden modeli için birim şekil değiştirme enerji yoğunluğu fonksiyonu şu şekildedir:

$$W(\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3) = \sum_{r=0}^{n \rightarrow \infty} \left( \frac{\mu_r}{\alpha_r} \right) (\lambda_1^{\alpha_r} + \lambda_2^{\alpha_r} + \lambda_3^{\alpha_r} - 3) \quad (13)$$

$\lambda_j$ ,  $j=(1,2,3)$  ana gerilme oranıdır.  $\mu_i$  ve  $\alpha_i$  ise deneysel olarak belirlenen malzeme sabitleridir.

Ogden modeli en yaygın kullanılan modeldir. O-ring ve conta gibi kauçuk malzemelerin analizinde sıklıkla kullanılmaktadır. Ogden modeli, diğer analiz modellerinden farklıdır. Test verilerinin doğrudan kullanılabilmesi avantajlarına sahiptir ve çekme testi sonuçlarının % 700'üne kadar test verileri ile iyi bir uyumluluk gösterir. Bir kauçuk malzemenin davranışının analizinde Ogden modeli, test verilerini daha önce bahsedilen Mooney-Rivlin modelinden daha iyi açıklamaktadır çünkü eğriyi tanımlamada daha fazla esnekliğe sahiptir.

### 2.6.3 Neo-Hookean Modeli

Neo-Hookean modeli, malzemelerin gerilim-şekil değiştirme davranışını tahmin etmek için kullanılabilen hiperelastik bir malzeme modelidir. Hooke yasasına benzer şekilde uygulanan gerilme ve birim şekil değiştirme arasındaki ilişki başlangıçta doğrusaldır, ancak belirli bir noktada gerilim- birim şekil değiştirme eğrisi doğrusal olmayana dönüşür. Sıkıştırılmaz bir malzeme için Neo-Hookean birim şekil değiştirme enerji yoğunluğu denklemi aşağıdaki gibidir:

$$W(I_1) = C_1 (I_1 - 3) \quad (14)$$

Neo-Hookean modeli, çapraz bağlı polimer zincirlerinin istatistiksel termodinamiğine dayanmaktadır. Kauçuk benzeri malzemeler için ilk doğrusal bölgenin kullanılması mümkündür. Çünkü çapraz bağlı polimerler, doğrusal durumlarda Neo-Hookean tarzında hareket ederler. Fakat belirli bir noktada polimer zincirleri kovalent çapraz bağların izin vereceği maksimum noktaya kadar gerilecektir. Bu durum, malzemenin elastiklik modülünde büyük bir artışa neden olacaktır. Neo-Hookean modelinin büyük gerilmelerde doğru bir tahmin verememe sebebi budur.

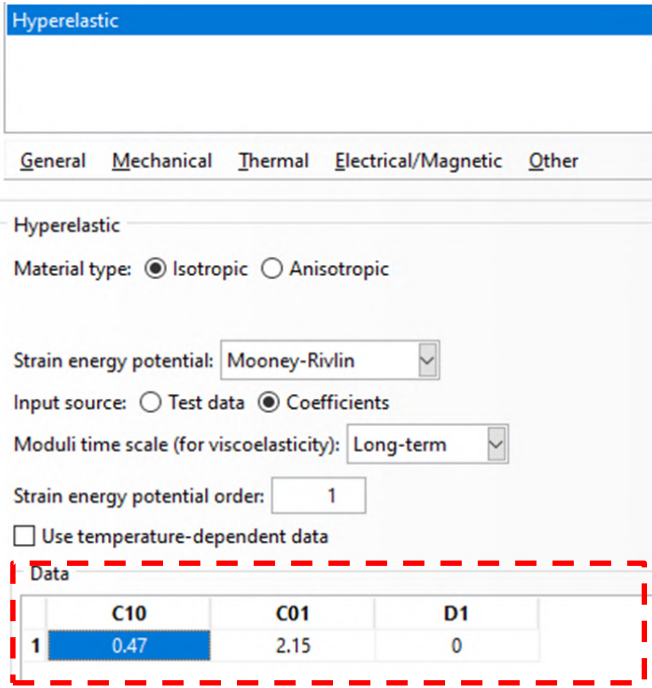
Malzeme testlerinin deneysel verileri Abaqus programına Şekil 13'de gösterilen şekilde yüklenmiştir.

	Nominal Stress	Nominal Strain
1	0	0.089050557
2	0.012018383	0.089703863
3	-5.54328E-06	0.088903975
4	-5.54328E-06	0.088977091
5	-5.54328E-06	0.088176275
6	-5.54328E-06	0.089049118
7	-5.54328E-06	0.086794831
8	-5.54328E-06	0.087230877
9	-5.54328E-06	0.089994811
10	0.047912598	0.13231257
11	0.132141113	0.15510649
12	0.180236816	0.167117657
13	0.264221191	0.178855843
14	0.360412598	0.191412962
15	0.468811035	0.20369711
16	0.577209473	0.215981259
17	0.721740723	0.227992426
18	0.877990723	0.240458562

Şekil 13. Test verilerinin Abaqus programına girilmesi

Hiperelastik davranış sergileyen malzeme tipi izotropik olarak seçilerek girişler yapılmıştır. Elde edilen tüm MS Excel verileri programa girildikten sonra Şekil 14'te gösterildiği şekilde malzeme değerlendirmeleri yapılarak stabilizasyon sağlanmıştır.

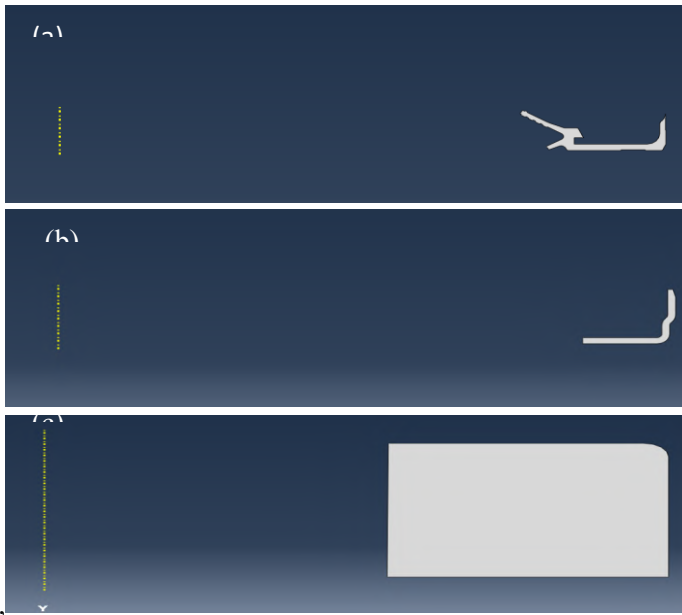
Yapılan deneyler üzerinden alınan veriler Abaqus sisteminde eşleştirilerek Mooney-Rivlin malzeme katsayıları elde edilmiştir. Elde edilen katsayılar aşağıdaki Şekil 14'te verilmiştir. Mooney-Rivlin malzeme modeli kullanılmasının sebebi döner mil keçelerinin maksimum %5 deformasyon altında çalışmasıdır.



Şekil 14. Mooney-Rivlin malzeme katsayıları

## 2.7. Keçe'nin FEA Modelinin Oluşturulması

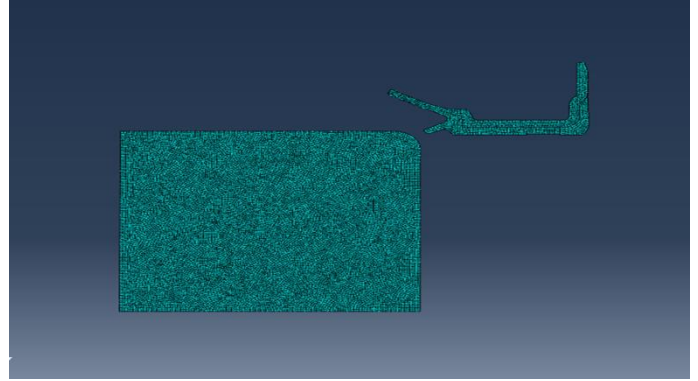
Çözüm süresinin kısa olması amacıyla aksel simetrik model ile çözüm oluşturulmuştur. Düşük sürtünme kuvvetinin sağlanması amaçlandığı için elastomer dudak yapımız da garter yayı kullanılmamıştır. Şekil 15'te dudak, metal bilezik ve mile ait aksel simetrik model keçe datası verilmiştir.



Şekil 15. Aksel simetrik keçe modeli; (a) Dudak, (b) Metal bilezik, (c) Mil

Metal bilezik elastomer malzeme yapısının rijit kalması için kullanılmaktadır. Montaj yapısının hazırlanması için ise mil modeli oluşturulmuştur. Analizi yapılacak ana modele ait alt

komponentler montaj kuralları çerçevesinde birleştirilerek montaj edilmiştir. Döner mil ve keçe dudağı arasında yüzey-yüzeve kontak ilişkisi etkileşimi kullanılmıştır. Keçe modelinin ağ yapısı oluşturulurken toplamda 14.795 adet mesh elemanı kullanılmıştır. Mesh elemanlarından 14.357 adeti CAX4H ve 438 adetide CAX3H elaman tipinden oluşmaktadır. Şekil 16'da analiz yapılacak malzeme modeline ait görüntü verilmiştir (Engin ve ark., 2019).



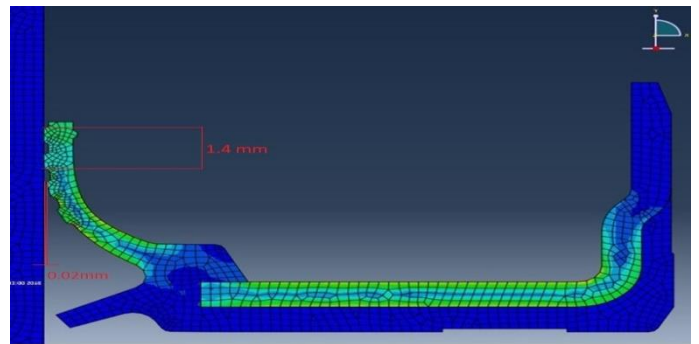
Şekil 16. Analiz öncesi malzeme modeli görüntüsü

Sızdırmazlık elemanları hiperelastik malzemeden imal edilen parçalar oldukları için gerilme-birim şekil değiştirme (strees-strain) değerlerini analitik olarak belirlenmesi oldukça zor olan parçalar olmasına rağmen iki boyutlu bir aksel simetrik sonlu elemanlar analiz (FEA) sayısal modeli, Mooney-Rivlin kauçuk malzemenin modeline ve arıza fonksiyonu temas algoritmasına dayalı olarak geliştirilmiş, gerilme, birim şekil değiştirme ve temas basıncının dağılımları analiz edilerek, gerçek bir arıza durumu ile karşılaştırılmıştır (Zhou ve ark., 2014).

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

### 3.1. FEA Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Şekil 17'de Sonlu Elemanlar Analizi (FEA) ait elde edilen çıktı gösterilmiştir.



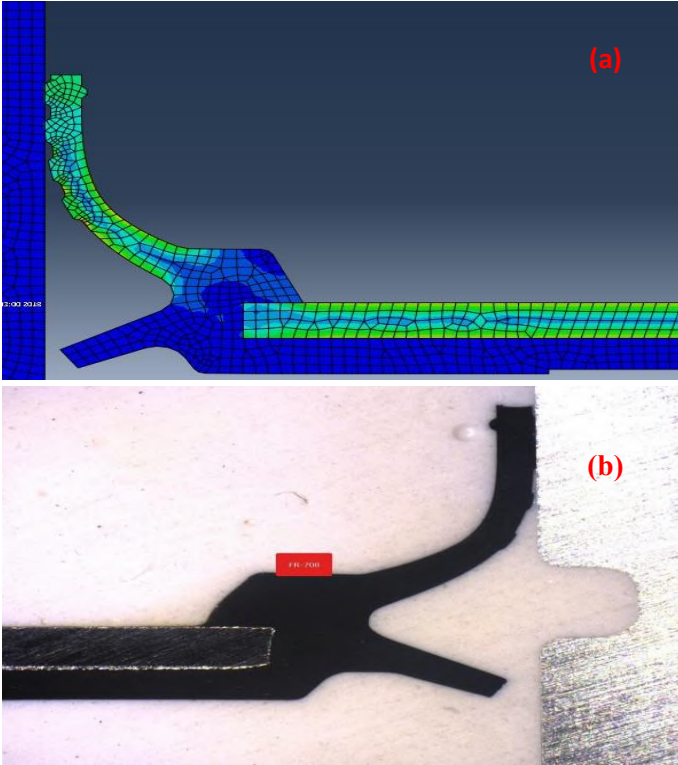
Şekil 17. FEA sonuçları

Şekil 17'de Von Misses gerilme teorisine göre sonuçlar görülmektedir. Analiz esnasında milin rijit eleman olarak tanımlanması sebebiyle herhangi bir gerilme değeri elde edilmemiş ve mavi renk olarak görülmüştür. Mile montaj olmuş dudak yaklaşık olarak 1.9 MPa gerilmeye maruz kalmakta olup koyu yeşil renkle gösterilmektedir. Metal destek bileziği üzerinde (a) bölgesi 2.2 MPa olarak maksimum gerilmeye maruz kalmaktadır. Keçe tasarım aşamasında iki tırtılın teması öngörülmüş olup yapılan analiz çalışması sonucunda da istenilen dudak teması sağlanmıştır.

Sonlu Eleman Analizleri fiziksel doğrulama yapılmadığı sürece bir anlam ifade etmemektedir. Bu kapsamda gerçekleştirilen montaj analizinin doğruluğunu kontrol etmek için keçe üreticilerinin kullandığı özel bir uygulama yapılmıştır. Bu uygulamada keçe yuva sıklığında bir alüminyum parçaya montaj edilir. Bu durumda oluşan ikili sisteme gerçek mil boyutlarında yapılan alüminyum bir mil montaj edilir. Oluşan üçlü sisteme özel bir yapıştırıcı uygulaması yapılarak bir gün dondurulur. Dondurulmuş halde olan sistem tam ortadan kesilerek profil görüntüsü alınır. Şekil 18’de görüldüğü üzere Sonlu Eleman Analizi ve dondurulmuş kesit büyük bir uyum sağlamaktadır. Her iki durumda da iki tırtıl tam temas halinde ve üçüncü tırtıl temas etmek üzeredir.

### 3.2. FEA Sonuçları ile Deneysel Sonuçların Karşılaştırılması

Araldite dökülen numuneler ZEISS Smartzoom 5 markalı otomatik dijital mikroskop ile kontrol edilmiş ve gerekli ölçümler alınmıştır. Tablo 2’de karşılaştırma verileri görülmektedir.



Şekil 18. Sonlu elemanlar modeli ile deney sonuçlarının karşılaştırılması; (a) FEA modeli, (b) Prototip

Tablo 2. Hazırlanan kauçuk karışımına ait formülasyon

	Temas Eden Tırtıl Sayısı (adet)	Temas Genişliği (mm)	Son Tırtılın Temas Etmesi İçin Gerekli Mesafe (mm)
Prototip	2	1.43	0.04
FEA	2	1.4	0.02

### 3.3. Radyal Yük karşılaştırması: FEA-Deneysel

Prototip olarak üretilen keçelerin DIN 3761-9 standartına göre radyal yük ölçümleri yapılmıştır. Ardışık 6 numunenin ölçülen radyal kuvvet değerlerinin ortalaması alınmıştır. Deneysel olarak yapılan ölçümlerde radyal kuvvet değeri ortalama 6,3 N,

FEA sonucunda ise 7 N bulunmuştur. Sonuçlar arasındaki %9 fark oluşmuştur. Elastomer malzeme yapısından dolayı radyal kuvvet testlerinde ölçülen değerlerin kendi arasında  $\pm\%20$  tolerans bulunmasından dolayı analitik ve deneysel olarak elde edilen sonuçların birbirleri ile tutarlı olduğu görülmüştür.

## 5. Sonuç

Bu çalışmada hem deneysel hem de sonlu eleman analiz modelleri sayesinde kauçuk yapıdan oluşan ERS’nin statik yükleme durumundaki radyal kuvvet, temas eden tırtıl sayısı ve temas yüzeyi incelenmiştir.

1. Deneysel olarak Ø40 mil ile yapılan montaj sonrası kontrollerde keçe dudağında iki adet tırtılın temas ettiği görülmüştür. Aynı şekilde FEA sonuçları da değerlendirildiğinde iki adet tırtılın temas ettiği tespit edilmiştir. Temas yüzeyleri incelendiğinde, FEA ile deneysel sonuçlar arasında %2 civarında bir sapma görülmüştür.
2. Sızdırmazlık elemanlarının ömrü için radyal kuvvet önemli parametrelerden biridir. Bu kapsamda deneysel ve FEA sonuçları arasında %9 oranında bir fark görülmüştür. Sızdırmazlık elemanlarında kullanılan elastomerlerin üretim dönem değişikliklerinden dolayı  $\pm\%20$  ye kadar sapmaya izin verildiği bilinmekte olup bu sapma miktarı kabul edilebilir seviyededir.
3. Abaqus programında Sonlu Elemanlar Analizinin (FEA) yardımı ile modellenmiş olan sızdırmazlık elemanının montajı sırasındaki hareketi, reaksiyon kuvveti, dudakta meydana gelen diğer değişimler rahatlıkla gözlenmiştir.
4. Sızdırmazlık elemanının oluşturan yapıya ait malzeme özelliklerinin doğru yapılmış deneylerden elde edilmiş olması sapma miktarını azaltmıştır.
5. Deneysel ve FEA çalışmalarında oluşan sapmaların prototip üretim sürecinde oluşabilecek hatalardan kaynaklanabilmektedir.
6. Elde edilen veriler doğrultusunda gelecekte yapılması planan çalışmalarda, sızdırmazlık elemanlarının modellenmesi, FEA ile daha hızlı bir şekilde elde edilebilir ve model üzerinde meydana gelen sorunları prototip ihtiyacı duymadan tasarım aşamasında çözüleceği görülmüştür.

## 5. Teşekkür

Bu çalışma için gerekli olan kompozit numunelerin ve test ekipmanının kullanımını sağlayan SKT Yedek Parça ve Makine San. ve Tic. A.Ş. Arge Merkezi çalışanlarına teşekkür ederiz.

## Kaynakça

- Johnston, D.E., Bond, R. (1984). A new concept in rotary shaft seal design suitable for truck and bus hub seal applications. SAE Technical Papers, 93(May), 1081–1091.
- Bien-aimé, L. K. M., Blaise, B. B., Beda, T. (2020). Characterization of hyperelastic deformation behavior of rubber-like materials. SN Applied Sciences, 2(4).

- Kim, B., Lee, S. B., Lee, J., Cho, S., Park, H., Yeom, S., Park, S. H. (2012). *A comparison among Neo-Hookean model, Mooney-Rivlin model, and Ogden model for Chloroprene rubber*. International Journal of Precision Engineering and Manufacturing, 13(5), 759–764.
- Bhandari, A., Erdman, D., Bhatia, A., Strang, W. (2007). *Finite Element Analysis and Material Modeling of Elastomeric Components and Assemblies: Some Practical Considerations*. In SAE Technical Papers (Vol. 2007-January). SAE International.
- Li, W., Mays, S., Lam, D. (2002). *Material and finite element analysis of poly(tetrafluoroethylene) rotary seals*. Plastics, Rubber and Composites, 31(8), 359–363.
- Zhang, F. Y., Chen, J. L., Li, T. T., Zhang, Y. F. (2019). *Study and Optimization of Structural Parameters of Oil Seal by Response Surface Method*. International Journal of Precision Engineering and Manufacturing, 20(2), 255–265.
- Starostin, N.P., Vasileva, M.A. (2020). *Determination of Load-Speed Modes for Fluoroplastic Seals of Rotary Shaft by Temperature Limitation*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 459(6).
- Zhou, S. M., Chen, P., Shi, Y. (2015). *Analysis on Sealing Performance for a New Type of Rubber Saddle-shaped Sealing Ring Based on AQAQUS*. In Procedia Engineering (Vol. 130, pp. 1000–1009). Elsevier Ltd.
- Calonius, O., Pietola, M. (2005). *Explicit Finite Element Analysis of Tracking Capability of Rotary Face Seal for Industrial Fluid Power Applications*. Proceedings of the JFPS International Symposium on Fluid Power, 2005(6), 328–333.
- Azura, A.R., Leow, S.L. (2019). *Effect of carbon black loading on mechanical, conductivity and ageing properties of Natural Rubber composites*. In Materials Today: Proceedings (Vol. 17, pp. 1056–1063). Elsevier Ltd.
- Li, H., Zhao, T., Chen, M. (2016). *Green tire and new type rubber materials*. Kexue Tongbao/Chinese Science Bulletin, 61(31), 3297–3303.
- Vahapoğlu, V. (2013). *Kauçuk Mekaniğinde Yapılan Deneyler*. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 19 (1), 33-60.
- Keerthiwansa, R., Javorik, J., Kledrowetz, J., Nekoksa, P. (2018). *Elastomer testing: The risk of using only uniaxial data for fitting the Mooney-Rivlin hyperelastic-material model*. Materiali in Tehnologije, 52(1), 3–8.
- Dalrymple, T., Choi, J., Miller, K. (2007). *Elastomer rate-dependence: a testing and material modelling methodology*. Meeting of the Rubber Division of, (October 2007). Retrieved from
- Abdullah, M.A. (2020). *Fundamental Considerations for Finite Element Modelling of Rubber Material Tensile Test*. International Journal of Engineering and Management Sciences, 5(2), 7–13.
- Sasso, M., Palmieri, G., Chiappini, G., Amodio, D. (2008). *Characterization of hyperelastic rubber-like materials by biaxial and uniaxial stretching tests based on optical methods*. Polymer Testing, 27(8), 995–1004.
- Freitas, T.R. (2009). *Rubber sealing study applied to ball bearing components using finite element method*. In SAE Technical Papers. SAE International.
- Erkek, M., Kaya, N., Güven, C. (2015). *Kauçuk Burçların Hiperelastik Modellenmesi ve Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Analizi*. Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering, 20 (1), 65-74. Retrieved from
- Fujikawa, M., Maeda, N., Yamabe, J., Kodama, Y., Koishi, M. (2014). *Determining Stress–Strain in Rubber with In-Plane Biaxial Tensile Tester*. Experimental Mechanics, 54(9), 1639–1649.
- Kanzenbach, L., Schlomka, C., Gelke, S., & Ihlemann, J. (2019). *Specimen design for extreme uniaxial tension-compression tests of rubber materials*. PAMM, 19(1).
- Huri, D., Mankovits, T. (2018). *Comparison of the material models in rubber finite element analysis*. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 393). Institute of Physics Publishing.
- Xu, D., Han, B. H., He, W. H., Cheng, Z. G. (2018). *Research on compressive mechanical properties of metal rubber and its constitutive relation model*. Journal of Vibroengineering, 20(1), 332–344.
- Ismail, R., Ibrahim, A., Rusop, M., Adnan, A. (2018). *Determination of mechanical properties natural rubber compounds using double shear test pieces*. International Journal of Civil Engineering and Technology, 9(8), 37–43.
- Soltani, A., Deng, A., Taheri, A., Mirzababaei, M., Nikraz, H. (2019). *Interfacial shear strength of rubber-reinforced clays: A dimensional analysis perspective*. Geosynthetics International, 26(2), 164–183.
- Yang, Y., Ren, Z. Y., Bai, H., Shen, D., Zhang, B. (2020). *Study on the Mechanical Properties of Metal Rubber Inner Core of O-Type Seal with Large Ring-to-Diameter Ratio*. Advances in Materials Science and Engineering, 2020.
- Yakovlev, S.N. (2019). *An Experimental Study of the Wear of the Radial Shaft Seals of Rotary Shafts*. Journal of Machinery Manufacture and Reliability, 48(2), 179–183.
- Kumar, N., Rao, V. V. (2016). *Hyperelastic Mooney-Rivlin Model: Determination and Physical Interpretation of Material Constants*. MIT International Journal of Mechanical Engineering, 6(1), 43–46.
- Kim, B., Lee, S. B., Lee, J., Cho, S., Park, H., Yeom, S., Park, S. H. (2012). *A comparison among Neo-Hookean model, Mooney-Rivlin model, and Ogden model for Chloroprene rubber*. International Journal of Precision Engineering and Manufacturing, 13(5), 759–764.
- Engin, B., Saraç, Yazıcı, M. (2019). *Finite element simulation of rotary shaft lip seals*. Acta Physica Polonica A, 135(5), 1072–1074.
- Zhou, Y., Huang, Z., Tan, L., Ma, Y., Qiu, C., Zhang, F., Yuan, Y., Sun, C., Guo, L. (2014). *Cone bit bearing seal failure analysis based on the finite element analysis*. Engineering Failure Analysis, 45, 292–299.





# Kısmi Yük Koşullarında Dizel-Biyogaz Kullanılarak Çift Yakıtlı Dizel Motorun Enerji ve Ekserji Analizi

M. Rasit Atelge<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> Siirt Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Bölümü, Siirt, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-0613-2501), [rasitatelge@gmail.com](mailto:rasitatelge@gmail.com)

(İlk Geliş Tarihi 3 Temmuz 2021 ve Kabul Tarihi 9 Eylül 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.961833)

**ATIF/REFERENCE:** Atelge, M.R., (2021). Kısmi Yük Koşullarında Dizel-Biyogaz Kullanılarak Çift Yakıtlı Dizel Motorun Enerji ve Ekserji Analizi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (27), 334-346.

## Öz

Artan enerji talebi ve bunu doğrultusunda aşırı fosil yakıt kullanımı dünyamızı olumsuz şekilde etkilemektedir. Alternatif yakıt kaynaklarından biyogaz, araçlar için de potansiyel bir alternatif yakıt olarak tanımlanmaktadır. Bu çalışma, deneysel olarak çift yakıtlı motor sisteminde 0,000125 kilogram/saniye debiyle simüle edilmiş biyogaz kullanılarak 1500 rpm sabit hızda, %25, %50 ve %75 kısmi motor yüklerinde direk enjeksiyonlu dizel motorun enerji ve ekserji analizlerini kapsamaktadır. Deneysel sonuçları, kısmi yükün artmasıyla enerji ve ekserji verimliliği hem sadece dizel yakıt için hem de dizel-biyogaz yakıtı için artma eğilimi göstermiştir. Elde edilen faydalı iş her iki yakıt türü içinde %25, %50 ve %75 kısmi yüklemelerinde sırasıyla 1,60 kW, 3,20 kW ve 4,81 kW olarak belirlenmiştir. Dizel yakıt için, kısmi yüklemelere göre kayıp güç miktarı %25 yük için 5,18 kW, %50 yük için 7,99 kW ve %75 yükleme koşulunda 11,32 kW olarak hesaplanmıştır. Bu kayıplar, çift yakıtlı modda %25 yükleme için 8,04 kW, %50 yükleme oranında 9,91 kW ve %75 yüklemede ise 12,36 kW olarak elde edilmiştir. Kayıplardaki bu artış, biyogaz içerisinde bulunan %30 CO<sub>2</sub>'nin bulunması silindir içerisindeki oksijen konsantrasyonunu azaltmakta ve tam yanmanın gerçekleşememesiyle açıklanmıştır. Sadece dizel kullanılarak yapılan deneylerde sistemin enerji verimi %25, %50 ve %75 yüklemeler için sırasıyla %25,75, %29,40 ve %29,64 olarak bulunurken çift yakıtlı sistemde biyogaz eklenmesiyle enerji veriminde sırasıyla %18,01, %25,27, %27,97 olarak belirlenmiştir. Ekserji verimliliği ise dizel yakıtı kullanıldığında aynı yükleme koşulları için sırasıyla %22,96, %26,21 ve %26,43 olarak hesaplanırken, çift yakıtlı sistemde bu değerler %17,17, %23,59 ve %25,80 olarak bulunmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Çift Yakıtlı Dizel Motor, Enerji ve Ekserji Analizi, Biyogaz, Biyoyakıt.

## Energy and Exergy Analyses of Dual Fuel Diesel Engine Using Diesel-Biogas at Partially Load Conditions

### Abstract

Increasing energy demand and excessive use of fossil fuels negatively affect our world. Biogas is defined as a potential alternative fuel for vehicles. This study covered energy and exergy analyses of the direct injection diesel engine at 1500 rpm constant speed 25%, 50% and 75% partially load condition using simulated biogas with a flow rate of 0.000125 kilograms/second with a dual fuel engine system. Results revealed that energy and exergy efficiency tended to increase both for diesel fuel and diesel-biogas fuel with the increase of partial load. The obtained work was 1.60 kW, 3.20 kW and 4.81 kW for 25%, 50% and 75% loading condition for both fuel types. For diesel fuel, the amount of lost power was calculated as 5.18 kW for 25% load, 7.99 kW for 50% load and 11.32 kW with 75% loading condition. These losses were obtained as 8.04 kW for 25% loading, 9.91 kW at 50% loading rate and 12.36 kW on 75% loading in dual fuel mode. This increase in losses was explained by the presence of 30% CO<sub>2</sub> in biogas, reducing the oxygen concentration in the cylinder and preventing combustion process. For diesel fuel, the energy efficiency of the system was 25.75%, 29.40% and 29.64% for loadings of 25%, 50% and 75% respectively, while the energy efficiency was determined as 18.01%, 25.27%, 27.97% with the addition of biogas in the dual fuel system. Exergy efficiency was calculated as 22.96%, 26.21% and 26.43% respectively for the same loading conditions when diesel fuel was used, while in the dual fuel system these values were found to be 17.17%, 23.59% and 25.80%.

**Keywords:** Dual Fuel Diesel Engine, Energy and Exergy Analysis, Biogas, Biofuel.

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

## 1. Giriş

Fosil yakıtların olumsuz etkilerinin belirlenmesiyle birlikte yenilenebilir enerji teknolojilerinin geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması uluslararası önem kazanmıştır. Bu noktada, fosil yakıtların yerine alternatif yenilenebilir yakıtların kullanılmasıyla taşıma sektöründe daha çevreci ve sürdürülebilir kalkınmaya önemli bir katkı sağlanabilir. Bu bağlamda, biyogaz, merkezi olmayan enerji üretim uygulamaları için olduğu kadar araçlar için de potansiyel bir alternatif yakıt olarak tanımlanmaktadır (Atelge, 2021; Börjesson ve ark., 2008; Subramanian ve ark., 2013). Biyogaz, kendiliğinden tutuşma sıcaklığının yüksek olması nedeniyle dizel motorlarında dizel yakıtın yerine tamamen kullanılmaz; fakat, bu motorların ihtiyacı olan enerjinin bir kısmı biyogaz ile sağlanabilir (Goga ve ark., 2020; Subramanian ve ark., 2013). Literatürde, elektrik üretimi için biyogaz – dizel çift yakıtlı motorun performansı ile uzun vadeli dayanıklılığı incelenmiş ve 2000 saat biyogaz beslemeli motor test ile dizelin kütleye göre %90'nın biyogaz ile karşılanabileceğinin mümkün olduğunu, motor bozulmasına dair önemli bir işaret bulunmadığı rapor edilmiştir (Tippayawong ve ark., 2007). Biyogaz birçok avantaja sahip olmasına rağmen, kullanımı yavaş üretim oranı, aşındırıcı maddeler, düşük kalorifik değer ve temizlik gereksinimleri gibi birçok teknik zorlukla da karşı karşıyadır.

Anaerobik parçalama işlemiyle elde edilen biyogazın ana bileşenleri olarak metan (CH<sub>4</sub>) (%60-75) ve karbondioksitten (CO<sub>2</sub>) (%20-35) oluşurken, içerisinde azot (N<sub>2</sub>) ve hidrojen sülfid (H<sub>2</sub>S), hidrojen (H<sub>2</sub>) ve su (H<sub>2</sub>O) gibi az miktarda diğer gazlarda bulunmaktadır. Miktar olarak çok düşük oranlarda olmasına rağmen, H<sub>2</sub>S ve su buharı biyogazın kullanıldığı cihazlarda aşındırıcı etkiler göstermiş ve temizlenmesi için birçok teknoloji geliştirilmiştir (Atelge ve ark., 2021; Atelge ve ark., 2020). Bu olumsuz etkiye sahip bileşenlerin dışında, ham biyogazda CO<sub>2</sub>'nin varlığı gazın kalorifik değerini ve alev hızını azaltarak motorların termal verimliliğinin azalmasına neden olmaktadır (Bari, 1996; Barik ve ark., 2014; Bora ve ark., 2016; Duc ve ark., 2007). Ayrıca, CO<sub>2</sub>'nin biyogazdan temizlenmesi maliyeti yüksek bir işlemdir ve önemli miktarda enerji gerektirir. Bu nedenle literatürde, biyogaz içerisindeki CH<sub>4</sub> ve CO<sub>2</sub>'nin yüzdesel oranlarındaki değişikliklerinin dizel motor performansı üzerine etkileri incelenmiştir (Henham ve ark., 1998). Biyogaz içerisindeki CO<sub>2</sub> yüzdesinin artması, CO emisyonlarındaki önemli artışla birlikte genel verimlilikte düşüşe neden olduğu bulunmuştur. Ayrıca, egzoz gazı sıcaklığı ve CO emisyonları üzerinde ise motora biyogazın besleme debisinin, biyogazın içerisindeki CO<sub>2</sub> yüzdesinden daha etkili olduğu bulunmuştur. Başka bir çalışmada, simüle edilmiş biyogaz kullanarak çift yakıtlı motorun performansı üzerindeki CH<sub>4</sub> ve CO<sub>2</sub>'nin yüzdesel orandaki değişiminin etkisi incelemiş ve biyogaz içerisinde %20-30'a kadar CO<sub>2</sub>'nin bulunması, motorun tam yük altında performansını iyileştirdiği ve bunun frene özgü yakıt tüketiminin azaldığı rapor edilmiştir (Bari, 1996). Ancak, CO<sub>2</sub> bu belirtilen aralıktan fazla olması motor performansı üzerindeki olumlu etkinin azalmasına neden olduğu bildirilmiştir. Bu artışın nedeni ise yanma sırasında CO<sub>2</sub>, CO ve O<sub>2</sub> bileşenlerine ayrıldığı ve bununla yanmayı olumlu etkilediğiyle açıklanmıştır. Öte yandan, biyogaz içerisinde CO<sub>2</sub> konsantrasyonunun yüksek olduğu durumlarda CO<sub>2</sub>'nin bir miktar bileşenlerine ayrılmadan kaldığı ve bu kalan kısmın, silindir içindeki yakıt karışımının yanma hızını azaltan seyreltici olarak davrandığı rapor edilmiştir. Yine çift yakıtlı benzinli bir motor ile yapılan

yanma analizi deneylerinde, biyogaz içerisindeki CO<sub>2</sub> yüzdesinin %40'a yükseltildiğinde, fren termal verimliliğinin %3 oranında azaldığı ve HC emisyonlarının arttığı bildirilmiştir (Huang ve ark., 1998). Matuszewska ve ark. (2016) tarafından yapılan çalışmada ise biyogazın dizel motorlarda kullanımı daha düşük partikül madde (PM) ve azot oksit (NO<sub>x</sub>) emisyonları ve daha yüksek karbon monoksit (CO) ve hidrokarbon (HC) emisyonlarına sebep olduğu bildirilmiştir, ancak biyogazdaki CO<sub>2</sub> konsantrasyonları %30 ila %40 arasında olması önemli bir değişikliğe sebep olmadığı gözlenmiştir.

Biyogazla ilgili CO<sub>2</sub> yüzdesinin etkisinin araştırılması dışında literatürde dizel motorlarda sıkıştırma oranlarının ve yakıt püskürtme zamanının üzerine yapılmış çalışmalar da mevcuttur. Biyogaz çift yakıtlı motorların performansını artırmak için ağırlıklı olarak önceden karıştırılmış şarj sıkıştırma ateşleme yanma modunu denemeler ve daha homojen karışım oluşumuna ve dolayısıyla daha iyi yanma verimliliğine izin veren erken dizel enjeksiyonu (piston üst ölü noktadan 55-70° önce) ile elde edildiği bildirilmiştir (Mohamed Ibrahim ve ark., 2015). Biyodizel – biyogaz çift yakıtlı dizel motorların kırsal alanlarda enerji üretme seçeneği olarak kullanılmasının fizibilitesi araştırılmıştır. Bora ve ark. (2016), bir dizel motorda 17 – 18 arasında değişen sıkıştırma oranlarında biyodizel-biyogaz çift yakıtlı sistemde deneyler gerçekleştirmişler ve yüksek sıkıştırma oranlarında çift yakıtlı çalışmanın hem performans hem de emisyonlarda iyileşme gözlendiğini bildirmişlerdir. Saf Jatropa yağı ve biyogaz kullanılarak çift yakıt modunda deneysel bir araştırma yapılmış ve çift yakıtlı sistemin daha yüksek yüklerde termal verimliliğin dizel yakıt kullanılarak yapılan deney sonuçlarıyla karşılaştırılabilir olduğu, ancak düşük yükte eksik yanmadan dolayı termal verimlilikte %10'luk bir düşüşe sebep olduğu bildirilmiştir (Luijten ve ark., 2011). Barik ve ark (2014) direk enjeksiyonlu dizel motorda biyogaz üretimi ve kullanımına odaklanan kapsamlı bir çalışma yapmışlar ve küspe ve hayvan gübresi ile %73 CH<sub>4</sub> konsantrasyonu sahip biyogaz üretimini gerçekleştirmişlerdir. Üretilen bu biyogaz, çift yakıtlı dizel motorda 0,3 – 1,2 kg/saat farklı besleme debileriyle yanma testlerini yapmışlardır. 100% motor yükünde, dizel yakıtı kıyasla NO<sub>x</sub> ve duman emisyonlarında sırasıyla %39 ve %49 azalma tespit edilirken, CO ve HC emisyonlarında sırasıyla %17 ve %30 artış ile termal verimlilikte %6,2 düşüş olduğu tespit edilmiştir (Barik ve Murugan, 2014).

Biyogaz çift yakıtlı motorun performans değerlendirilmesi üzerinde şimdiye kadar yapılan çalışmaların çoğu enerji analizine dayanmaktadır ve doğası gereği belirli kayıp kaynaklarını ve göreceli büyüklüklerini belirleme yeteneğinden yoksundur. Termodinamiğin ikinci yasasına dayanan ekserji analizi, içten yanmalı motor performanslarını, çeşitli süreçlerde meydana gelen tersinmezliklerin ve bunların büyüklüklerinin karşılaştırarak analiz etmek ile birlikte daha doğru sonuçlar elde edilebilir. Ancak literatürde biyogaz çift yakıtlı motorların ekserji değerlendirmesine odaklanan çok az çalışma vardır. Sorathia ve ark. (2012) dizel ve dizel-biyogaz yakıtlı kullanarak %100 motor yükünde karşılaştırmalarını enerji ve ekserji analizini yaparak ortaya koymuşlardır. Sonuçlarına göre çift yakıtlı sistemde biyogaz ilavesinin tam yükte motor performansına herhangi bir olumsuz etki yapmadı sonucuna ulaşmışlardır. Diğer bir çalışmada, dizel-biyogaz çift yakıtlı motorun sıkıştırma oranındaki ve dizel yakıt enjeksiyon zamanlamasındaki değişimlerin termodinamik analiz ile enerji ve ekserji üzerindeki etkilerini incelemişlerdir (Bora Bhaskor ve ark., 2016). Tam yükte gerçekleştirilen tüm testler için,

sıkıştırma oranındaki artışın ve enjeksiyon zamanlamasının motorun çift yakıt çalışması için ekserji performansını artırdığı bulunmuştur. Sıkıştırma oranının 18 ve enjeksiyon zamanlamasında piston üst ölü noktadan 29° olduğunda, en yüksek ekserji verimliliği ve daha düşük egzoz gazı ekserjisi elde edildiği rapor etmişlerdir.

Mevcut literatürdeki sunulan bilgileri dayanarak, biyogaz kullanılarak çift yakıtlı motor sisteminin motorun kısmi ve tam yüklerde motor performansına ve emisyon sonuçlarına etkileri araştırılmıştır. Bu etkileri tahmin etmek ve nedenlerini anlamak için şimdiye kadar yapılan çalışmalar genelde enerji analizine dayanmaktadır. Ekserji analizleri ile ilgili raporlar ise motorun tam yük koşulu altında yapılmış çalışmalardır. Kısmi yüklerde, enerji ve ekserji analizlerine dayanan bir çalışma, örneğin kayıplara neden olan çeşitli tersinmezlikleri tanımlamak ve karşılaştırmak biyogazın biyoyakıt olarak kullanılması için daha faydalı bilgiler sağlayabilir. Bu tür araştırmalar, yakıt seçiminde ve ayrıca biyogaz çift yakıtlı motor teknolojisinin geliştirilmesine yardımcı olabilir. Bu çalışma, literatürdeki bu eksikliği gidermeye katkı sağlamak için, çift yakıtlı motor sisteminde 0,000125 kilogram/saniye debiyle simüle edilmiş biyogaz kullanılarak, %25, %50 ve %75 kısmi motor yüklerinde bir direk enjeksiyonlu dizel motorun enerji ve ekserji analizlerini kapsamaktadır. Çıkan sonuçlar, motorun bu çalışma koşullarında dizel kullanılarak elde edilen sonuçlarıyla kıyaslanarak meydana gelen farkların sebepleri enerji ve ekserji analizleriyle ele alınmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Kullanılan Yakıtların Özellikleri

Bu çalışma için simüle edilen biyogazın içerisindeki gaz karışım oranları önceki çalışmamızdan elde edilmiştir. Önceki çalışmamızda, biyogaz üretimi için besi kaynağı olarak yağ çıkarılmış kahve telvesi kullanılmıştır (Atelge ve ark., 2021). Üretilen biyogazdaki CH<sub>4</sub> ve CO<sub>2</sub> yüzdeleri gaz kromatografisi analizi (Shimadzu GC-2010 Plus) ile belirlenmiştir. Test sonuçları, gram uçucu katı başına 336 ± 7 mL CH<sub>4</sub> üretildiği belirlenmiş ve üretilen biyogazın hacimsel olarak %70,05'ini CH<sub>4</sub>, %28,75'ini CO<sub>2</sub> ve geri kalanı ise eser gazlardan oluştuğunu ortaya koymuştur (Atelge ve ark., 2021). Bu nedenle, bu deneyde biyogazı simüle etmek için hacimsel olarak %70 CH<sub>4</sub> ve %30 CO<sub>2</sub> karıştırılarak dizel motorun emme manifoldundan verilmiştir. Barik ve ark. (2014) tek silindirli bir dizel motorda biyogazın debisi üzerine çalışma yapmışlar ve sonuçları en yüksek BTE'nin 0,3 kg/saat biyogaz akış hızından elde edildiğini ortaya koymuşlardır. Deneylerinde kullandıkları test motoru tek silindirli ve hacmi 662 cm<sup>3</sup> olduğundan, bu deneysel çalışmada kullanılan test motorunun silindir hacmine orantılanarak simüle edilmiş biyogazın debisi 0,000125 kg/s'lık olarak seçilmiştir. Bu karışımı elde etmek için saflıkları sırasıyla %99,999 ve %98,9 olan CH<sub>4</sub> ve CO<sub>2</sub> gazları kullanılmıştır. Simüle edilmiş biyogaz içerisindeki hacimsel yüzdeleri

belirlemek ve deney süresince sabit tutmak için iki akış ölçer (Alicat, M100 SLP) kullanılmıştır. Tablo 1'de biyogazın özellikleri sunulmuştur.

Tablo 1 Biyogaz yakıt özellikleri

	Değerler	Kaynak
Alt ısı değeri (MJ/kg)	20,84	*
Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> ) (1 atm ve 288 K)	1,2	(Barik ve ark., 2016)
Alev yayılma hızı (m/s)	25	(Barik ve Murugan, 2016)
Oktan sayısı	130	(Barik ve Murugan, 2014)
Parlama noktası (K)	1087	(Bora ve ark., 2014)
Stokiyometrik hava yakıt oran	10	(Bora ve ark., 2014)

\* CH<sub>4</sub> oranına göre hesaplanmıştır

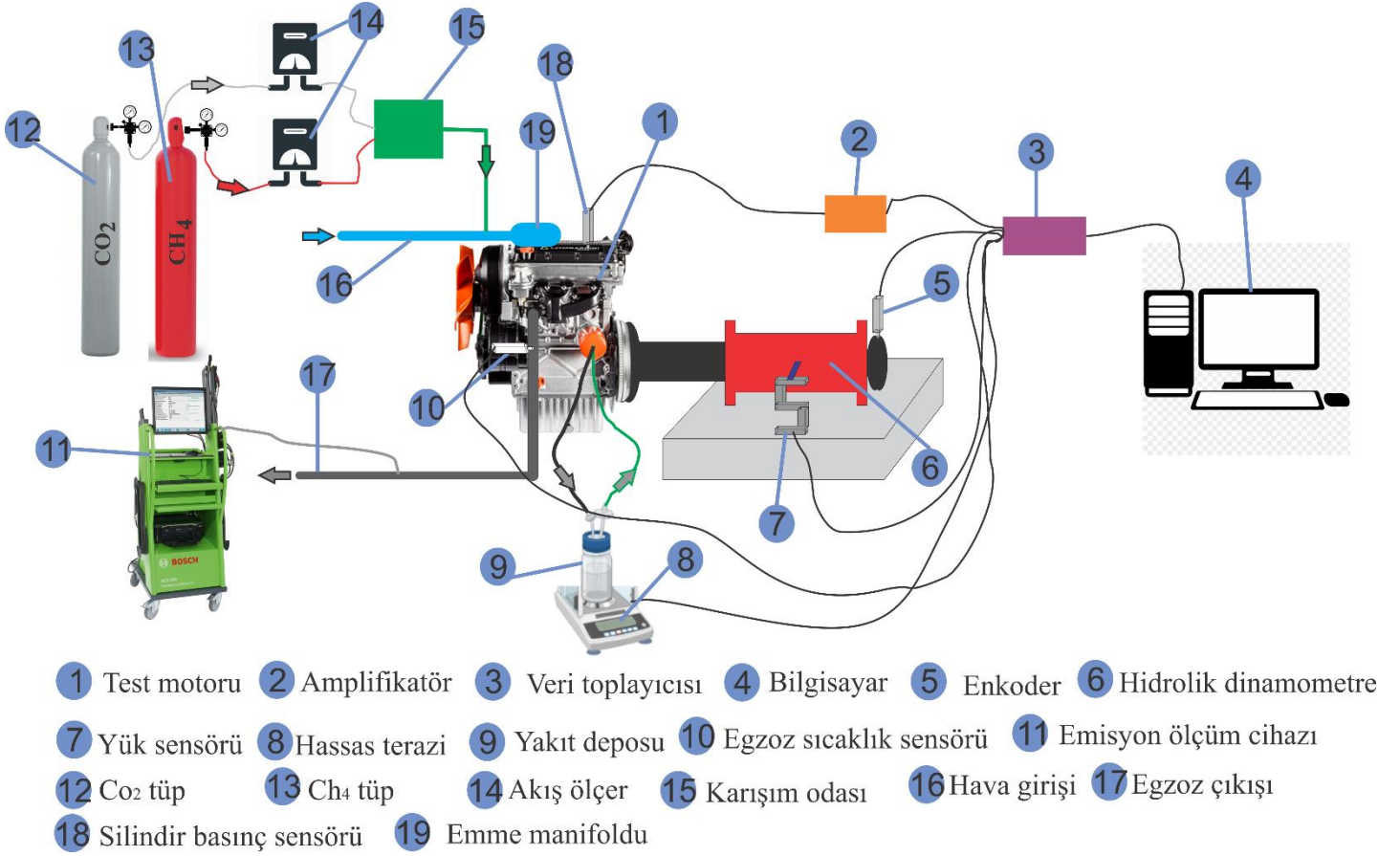
Kullanılan dizel yakıt OPET akaryakıt istasyonundan euro dizel olarak temin edilmiştir. Bu yakıt ile ilgili yüklenici firmadan temin edilen veriler Tablo 2'de sunulmuştur.

Tablo 2 Euro dizel yakıt özellikleri

	Değerler
Alt ısı değeri (MJ/kg)	42,65
Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> ) (1 atm ve 288 K)	840,5
Setan sayısı	51
Parlama noktası (K)	328
Stokiyometrik hava yakıt oran	14,46
Kimyasal bileşim (kütlesel)	C <sub>12</sub> H <sub>23</sub>
H/C	0,1597
O/C	0
S/C	~0
Euro dizelin ekserji faktörü	1,0744

### 2.2. Çift Yakıtlı Dizel Motor Test Sistemi

Yanma ve emisyon testleri için dört zamanlı, üç silindirli, su soğutmalı, doğrudan enjeksiyonlu dizel motorda gerçekleştirilmiştir. Çift yakıt modunu ayarlamak için, motorun emme manifolduna, gaz besleme için bir hortum bağlanarak modifiye edilmiştir. Bu çalışmada biyogaz ve dizel sırasıyla birincil yakıt ve pivot yakıt olarak kullanılmıştır. Deney için kullanılan motor test sistemi şematik olarak Şekil 1'de sunulmuştur. Deneyler, test edilen tüm yakıtlar ve yükler için 1500 rpm sabit motor hızında gerçekleştirilmiştir. Motoru yüklemek için, tork kapasitesi 0 ve 450 Nm aralığında olan Net Fren-NF150 marka hidrolik dinamometre, dizel motor mili ile birleştirilmiştir. Motor yükünü belirlemek için kapasitesi 0,1 g hassasiyetle 200 kg olan bir yük sensörü (CAS, SBA 200L) kullanılmıştır. Motor performansları %25, %50 ve %75 kısmi motor yüklerinde dizel yakıt ve dizel-biyogaz çift yakıt modunda gerçekleştirilmiştir.

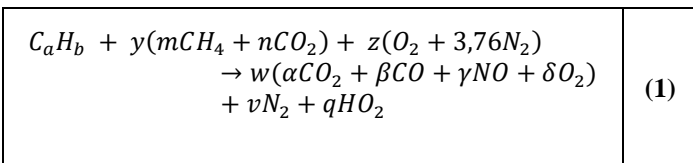


Şekil 1 Çift Yakıtlı Dizel Motor Test Sisteminin Şematik Gösterimi

### 2.3. Termodinamik Analizi

Termodinamiğin ilk yasası enerjinin korunmasına dayanır ve enerjinin yaratılmayacağını veya yok edilemeyeceğini vurgular. Bu nedenle sistemdeki enerji giriş ve çıkışlarını belirlemek için birinci kanun analizi yapılmaktadır (Kiliç ve ark.). Bu kanun, endüstriyel tesislerdeki tüm enerji tüketen cihazlar için geçerlidir ve sistemdeki tersinmezliklerden kaynaklanan kayıpları dikkate almaz. Termodinamiğin ikinci yasası, sistemlerin gerçek enerji potansiyelini anlamak için entropi oluşturmayı ve iş yapma yeteneğini analiz eder. Tersinebilir sistemler dışında, ekserji enerji gibi korunmaz; ekserjinin bir kısmı sistemdeki tersinmezliği nedeniyle yok edilir ve bir kısmı sistem sınırının etrafından atılır (Karaağaç ve ark., 2019; Yıldız ve ark., 2020).

Motor enerjisi ve ekserji analizleri, yanma reaksiyon denklemlerinden elde edilen yanma ürünleriyle hesaplanır. Bu doğrultuda çift yakıtlı yanma için literatürde verilen formda test yakıtının yanma reaksiyon denklemine göre hesaplanmıştır (Denklem (1)) (Verma ve ark., 2017).



Bu denklemde  $\alpha, \beta, \gamma$  ve  $\delta$  egzoz gazı türlerinin katsayılarıdır ve egzoz gazı analizinden elde edilmiştir.

Denklemin bilinmeyen y, z, w, v ve q karbon, hidrojen, oksijen ve azot dengesi yapılarak elde edilmiştir.

Motor enerjisi ve ekserji analizleri için aşağıdaki kabuller yapılmıştır;

- Motorun sabit durumda çalıştığı,
- Hava, hava-yakıt karışımı ve egzoz gazlarının ideal gaz davranışına sahip olduğu,
- Giren ve çıkan kütlelerle ilişkili kinetik ve potansiyel enerjiler ihmal edilebilir olduğu,
- Referans basıncı ( $P_0$ ) ve sıcaklık ( $T_0$ ) sırasıyla 1 atm (101,325 kPa) ve 21 °C (294,15 K) olduğu,
- Motorun genel performansı için, tüm motor sistemi kontrol hacmi olarak alındığı, silindir içi analiz için sadece silindir kontrol hacmi olarak seçildiği,
- Egzoz gazı emisyonlarındaki küçük miktarlar nedeniyle hesaplamalarda HC ve yanmamış yakıtların ihmal edilebilir olduğu,

kabul edilmiştir (Kumar Sharma ve ark., 2020; Verma ve ark., 2018).

### 2.3.1. Enerji Analizi

Enerji sisteme yakıt şeklinde sağlanır. Bu enerji, shaft iş çıkışı, soğutma için atmosfere ısı transferi, egzoz gazları tarafından taşınan enerji vb. Termodinamiklerin ilk yasasının öngördüğü gibi, mevcut motor sistemi için enerji dengesi denklemi şu şekilde yazılabilir (Verma ve ark., 2017; Yıldız ve Çalışkan, 2020):

$\sum \dot{E}_g = \sum \dot{E}_c \quad (2)$
---

$\dot{E}_g = \dot{E}_y + \dot{E}_h \quad (3)$
---

$\dot{E}_c = \dot{E}_{is} + \dot{E}_e + \dot{E}_k \quad (4)$
--

Denklem (2)'de  $\dot{E}_g$  toplam giren enerjiyi,  $\dot{E}_c$  toplam çıkan enerji temsil etmek üzere, Denklem (3)'de  $\dot{E}_y$  sisteme giren yakıtın toplam kimyasal enerjisini ve  $\dot{E}_h$  ise sisteme giren havanın enerjisini temsil etmektedir. Denklem (4)'te ise  $\dot{E}_{is}$  üretilen net gücü,  $\dot{E}_e$  egzoz gazlarının enerjisini (Jadhao ve ark., 2013) ve  $\dot{E}_k$  ise sistemde meydana gelen enerji kayıplarını ifade etmektedir.  $\dot{E}_y$  ve  $\dot{E}_h$  Denklem (5) ve (6)'ya göre,  $\dot{E}_{is}$ ,  $\dot{E}_e$  ve  $\dot{E}_k$  ise Denklem (7), (8) ve (9)'a göre hesaplanmıştır (Kumar Sharma ve ark., 2020; Verma ve ark., 2017; Yıldız ve Çalışkan, 2020).

$\dot{E}_y = (\dot{m}_D \times H_D) + (\dot{m}_{BG} \times H_{BG}) \quad (5)$
---

$\dot{E}_h = (\dot{m}_h \times h_h) \quad (6)$
--

$\dot{E}_{is} = \frac{2 \times \pi \times n \times T}{60} \quad (7)$
--

$\dot{E}_e = (\dot{m}_D + \dot{m}_{BG}) \times (1 + HYO) \times (c_{pe}) \times (T_e - T_0) \quad (8)$
--

$\dot{E}_k = \dot{E}_y + \dot{E}_h - \dot{E}_{is} - \dot{E}_e \quad (9)$
--

Denklem (4)'den motora sağlanan yakıt giriş enerjisini ( $\dot{E}_y$ ),  $\dot{m}_D$  ve  $\dot{m}_{BG}$  sırasıyla dizel ve biyogaz yakıt kütleli debisi,  $H_D$  ve  $H_{BG}$  yakıtların alt ısıl değerlerini ifade etmek üzere birbirleriyle çarpımlarının toplanmasıyla elde edilmektedir. Yanma havasında gelen enerji değeri ( $\dot{E}_h$ ) Denklem (5)'e göre hesaplanır. Sistemden elde edilen efektif güç ( $\dot{E}_{is}$ ) Denklem (6)'ya göre hesaplanır. Denklem (6)'da n devir sayısını (devir/dakika), T motor torkunu ifade etmektedir. Denklem (7)'den ise egzoz enerjisini ( $\dot{E}_e$ ), giren yakıtların hava fazlalık katsayısı (HYO), egzoz gazı özgül ısı ve referans sıcaklığı ile egzoz gazı sıcaklıklarının çarpımı ile belirlenir. Sistemin enerji kaybı ise Denklem (8)'e göre hesaplanır.

Sistemin termal verimliliği termodinamiğin birinci yasasına göre Denklem (10)'da verildiği üzere hesaplanır.

$\eta_t = \frac{\dot{E}_{is}}{\dot{E}_y} \times 100 \quad (10)$
---

### 2.3.2. Ekserji Analizi

Ekserji dengesi, çeşitli motor proseslerinde enerji dağılımının nitel bir hesabını verir. Enerji ve ekserji dengeleri arasındaki temel fark, birincisinin enerjinin korunması yasasına, ikincisi ise enerjinin bozulması yasasına dayanmasıdır. Mevcut içten yanmalı motor sisteminin ekserji analizi dengesi aşağıdaki gibi yazılabilir (Verma ve ark., 2017; Yıldız ve Çalışkan, 2020):

$\sum \dot{X}_g = \sum \dot{X}_c + \sum \dot{X}_{yıkım} \quad (11)$
---

Denklem (11)'de giren ve çıkanları dikkate alındığında aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$\dot{X}_y + \dot{X}_h = \dot{X}_{is} + \dot{X}_e + \dot{X}_k + \dot{X}_{yıkım} \quad (12)$
---

Denklem (12)'de  $\dot{X}_y$ ,  $\dot{X}_h$ ,  $\dot{X}_{is}$ ,  $\dot{X}_e$ ,  $\dot{X}_k$  ve  $\dot{X}_{yıkım}$  sırasıyla yakıtın, havanın, güç, egzoz, kayıp ve yıkım ekserjileri ifade etmektedir ve aşağıdaki denklemlere göre hesaplanır (Kumar Sharma ve ark., 2020; Verma ve ark., 2017; Yıldız ve Çalışkan, 2020):

$\dot{X}_y = \dot{X}_D + \dot{X}_{BG} \quad (13)$
---

$\dot{X}_D = \dot{m}_D \times H_D \times \left\{ 1,0401 + 0,178 \times \left(\frac{H}{C}\right) + 0,043 \times \left(\frac{O}{C}\right) + 0,2169 \times \left(\frac{S}{C}\right) \times \left(1 - 2,0628 \left(\frac{H}{C}\right)\right) \right\} \quad (14)$
---

$\dot{X}_{BG} = \dot{m}_{BG} \times \left( \sum_i x_i e_{i_0} + T_0 \sum_i x_i R \ln(x_i) \right) \quad (15)$
---

$\dot{X}_h = \dot{m}_h \times c_{p,h,g} \times \left[ (T_{h,g} - T_0) - T_0 \ln\left(\frac{T_{h,g}}{T_0}\right) \right] \quad (16)$
---

$\dot{X}_{is} = \dot{E}_{is} \quad (17)$
--

$\dot{X}_e = \sum_i \dot{m}_i \times \left\{ c_{p,i} \times \left[ (T_e - T_0) - T_0 \ln\left(\frac{T_e}{T_0}\right) \right] + RT_0 \ln\left(\frac{y_i}{y_{çevre,i}}\right) \right\} \quad (18)$
--

$\dot{X}_k = \dot{E}_k \times \left( 1 - \frac{T_0}{T_{su}} \right) \quad (19)$
---

$\dot{X}_{yıkım} = \dot{X}_y + \dot{X}_h - \dot{X}_{is} - \dot{X}_e - \dot{X}_k \quad (20)$
---

Denklem (13)'de  $\dot{X}_y$ ,  $\dot{X}_D$  ve  $\dot{X}_{BG}$  motora sağlanan yakıt giriş ekserjisini toplamı olarak ifade edilmiştir. Denklem (14)'de  $\dot{m}_D$  ve  $H_D$  sırasıyla dizel yakıtın kütleli debisini ve alt ısıl değerini ifade etmektedir. Geri kalan ifade ise yakıtın ekserji faktörü olarak bilinmektedir ve yakıt içerisindeki H, O, S'nin kütleli olarak C'ye oranları ile bulunur. Denklem (15)'te biyogazdan gelen kimyasal ekserjisi biyogazın ideal gazların bir karışımı

olduğu varsayılarak hesaplanır. Denklemde,  $\dot{m}_{BG}$  biyogazın kütleli debisini,  $x_i$  i gazının mol oranını,  $e_{i_0}$  i gazının standart kimyasal ekserjisini,  $T_0$  referans sıcaklığı ve R ise genel gaz sabitini ifade etmektedir. Denklem (16)'da  $\dot{X}_h$  havanın ekserjisini ifade etmektedir.  $\dot{m}_h, c_{p_{h,g}}$  ve  $T_{h,g}$  sırasıyla havanın kütleli debisini, sisteme giren havanın özgül ısı kapasitesini ve havanın giriş sıcaklığını ifade etmektedir. Denklem (17)'de  $\dot{X}_{i_5}$  sistemden elde edilen faydalı işin ekserjisini ifade eder ve bu direk olarak faydalı işe eşittir. Denklem (18)'de  $\dot{X}_e$  egzoz gazının ekserjisini,  $y_i$  ve  $y_{çevre,i}$  i gazının egzoz gazı içerisindeki yüzdesini ve çevredeki oranını belirtmektedir. Denklem (19)'da  $\dot{X}_k$  sistemin ekserji kayıplarını,  $T_{su}$  ise motor soğutma suyunun sıcaklığını ifade etmektedir.  $\dot{X}_{yıkım}$  sistemin ekserji yıkımını ifade etmektedir ve Denklem (20)'ye göre hesaplanmaktadır.

Sistemin ekserji verimliliği termodinamiğin ikinci yasasına göre Denklem (21)'de verildiği üzere hesaplanır.

$$\eta_{II} = \frac{\dot{X}_{i_5}}{\dot{X}_y} \times 100 \quad (21)$$

Tablo 3'te çalışmada kullanılan tüm cihazların hassasiyetleri verilmiştir. Sonuçlar deneysel ölçümlerle temsil edildiğinde, cihazlar doğrulukları nedeniyle ölçümlerde belirsizliklere neden olurlar ve bu belirsizlikler sistemdeki değişkenlerin birleşiminden dolayı deney sisteminin belirsizliğini etkilerler. Bu nedenle, her cihazın belirsizliği, deney sisteminin belirsizliğine katkıda bulunmaktadır. Sistemin belirsizliğini hesaplamak için Eşitlik (22)'e göre yayılma belirsizliği yaklaşımı kullanılmıştır (Çakmak ve ark., 2017). Denklemde  $U_Y$  sistemin genel belirsizliğini ifade ederken,  $Y$   $x_i$ 'ye bağlı parametreyi,  $U_{x_i}$  ise  $x_i$ 'nin belirsizliğini ifade etmek üzere,

$$\frac{U_Y}{Y} = \left[ \sum_{i=1}^n \left( \frac{1}{Y} \frac{\partial Y}{\partial x_i} U_{x_i} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (22)$$

şeklinde hesaplanır. Denkleme göre yapılan belirsizlik analizinde deney sisteminin toplam belirsizliği  $\pm$  %2,25 olarak belirlenmiştir. Buda deney sisteminin mühendislik yaklaşımlarını kabul edilebilir olan hata payının (%5) altında olduğunu göstermektedir.

## 2.4 Belirsizlik Analizi

Tablo 3 Performans ve emisyon ölçümlerinde kullanılan cihazların hassasiyetleri ve belirsizlikleri

Kullanılan Cihazlar	Hassasiyetleri	Elde edilen veriler	Belirsizlik (%)
Hidrolik dinamometre	$\pm 0,03\%$	Tork	0,748
Basınç sensörü	$\pm 1\%$	Güç	0,457
Krank açısını belirlemek için enkoder	$\pm 0,01$ rpm	BTE	0,578
Silindir basıncı	$\pm 1\%$	BSFC	1,125
CO için gaz analizörü	$\pm 0,001\%$	EGT	1,078
HC için gaz analizörü	$\pm 1$ ppm	CO emisyonu	0,375
NO için gaz analizörü	$\pm 1$ ppm	HC emisyonu	0,298
Hassas terazi	$\pm 0,1\%$	NO emisyonu	0,586
K tipi termokupl	$\pm 1$ °C	Gaz akış ölçer	0,981
Gaz akış ölçer	$\pm 0,8\%$		
		<b>Deney Sistemi</b>	<b>2,251</b>

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar, çift yakıtlı dizel motora 0,000125 kg/s'lık biyogaz beslemesinin kısmi motor yüklerindeki enerji ve ekserji analizi olarak sunulmuştur. Tablo 3'te enerji ve ekserji analizi gerçekleştirilen yanma testinin,

motorun %25, %50 ve %75 kısmi yüklerle göre gücünü, yakıt tüketimini, giriş havasının kütleli debisini ve soğutma suyu sıcaklığını göstermektedir.

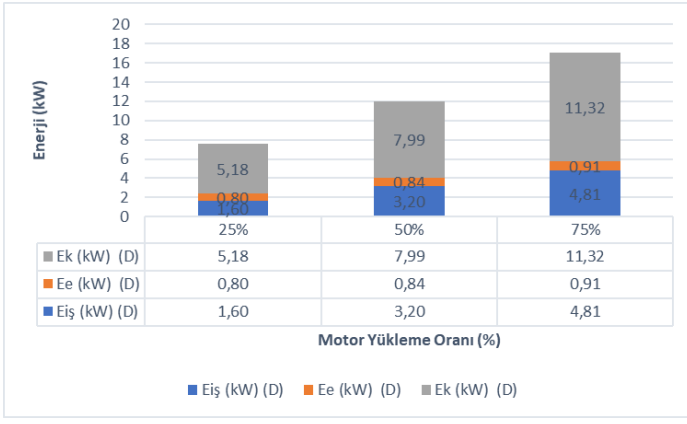
Tablo 4. Yanma Deneyinde Motor Kısmi Yüklerine Göre Elde Edilen Deneysel Veriler

Yakıt	Motor yükleme oranı (%)	Güç (kW)	Hava debisi (kg/s)	Dizel yakıt debisi (kg/s)	Biyogaz debisi (kg/s)	Motor soğutma suyu sıcaklığı (K)
D	25%	1.60	0.005993	0.000146	0	340.55
	50%	3.20	0.003806	0.000256	0	346.67
	75%	4.81	0.002760	0.000380	0	348.68
D+BG	25%	1.60	0.006367	0.000153	0,000125	332.77
	50%	3.20	0.004014	0.000242	0,000125	345.83
	75%	4.81	0.002956	0.000347	0,000125	348.31

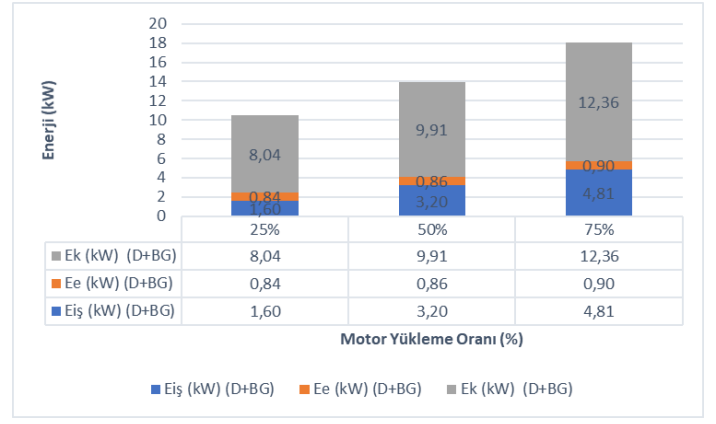
### 3.1. Enerji Analizi

Şekil 2’de motorun çalışma modunda enerji dağılımları motor yüklemelerine göre sunulmuştur. Şekil 2 - a’da sadece dizel yakıt kullanılarak gerçekleştirilen deneylerde elde edilen iş miktarı motor yükünün artırılmasıyla artmıştır. Elde edilen faydalı iş %25, %50 ve %75 kısmi yüklemelerinde sırasıyla 1,60 kW, 3,20 kW ve 4,81 kW olarak belirlenmiştir. Elde edilen faydalı iş açısında, yük oranının artması daha iyi bir enerji dönüşümüne elde edilmesine neden olmuştur. Bunun sebebi, uygulanan yükün artmasıyla yakıt akış hızlarında bir artışa bu da daha yüksek yanma sıcaklığının üretilmesine neden olur (Goga ve ark., 2020). Bu sıcaklık artışı yanma odasına giren ürünlerin daha iyi bir oksidasyon reaksiyonu gerçekleştirmesiyle sonuçlanır. Ayrıca, yüksek sıcaklık daha yüksek Carnot çevrim verimliliğine dolayısıyla da daha yüksek faydalı enerji elde edilmesine sebep olmuştur (Verma ve ark., 2018). Isı transferi ve sürtünme nedeniyle motor soğutma suyuyla kayıp olan hesaplanan enerji, yüklemenin artmasıyla arttığı tespit edilmiştir. Kısmi yüklemelere göre kayıp güç miktarı %25 yük için 5,18 kW, %50 yük için 7,99 kW ve %75 yükleme koşulunda 11,32 kW olarak hesaplanmıştır. Bu artışın sebebi yanma sıcaklığının yükselmesinden kaynaklandığı sonucuna varılabilir. Bu yükleme koşullarına göre kayıp enerjilerin elde edilen faydalı işe göre kıyaslaması yapıldığında motor yükünün artmasıyla bu enerjilerin birbirine oranı azalmaktadır. Yani, %25 yükleme koşulunda kayıp olan enerjinin %30,89’zu elde edilen faydalı işe eşit iken %75 yüklemede bu oran %42,44 olmaktadır. Bu da yüklemenin artmasıyla enerji veriminin arttığını göstermektedir. Yakıt olarak sadece dizel kullanıldığı zaman egzoz gazları enerji kayıpları incelendiğinde, motor soğutma suyundan kaynaklanan kayıplar ile aynı sonuçlara varılabilir. %25 yükleme koşulunda 0,80 kW egzoz gazı enerji kaybı hesaplanırken, bu kayıp %50 yüklemede 0,84 kW ve %75 yüklemede 0,91 kW olarak elde edilmiştir.

Şekil 2 - b’de çift yakıtlı dizel motor test sistemine birincil yakıt olarak 0,000125 kg/s biyogaz beslenmesiyle elde edilen enerji dağılımını göstermektedir. Sadece dizel yakıt kullanımında tespit edilen motora uygulanan yük ile elde edilen faydalı iş arasındaki trend, çift yakıtlı yanma modunda da tespit edilmiştir. Motor yükünün artmasıyla enerji dönüşümündeki verim artmıştır. Burada sabit oranda yüklemeler yapıldığı için elde edilen faydalı işler sadece dizel yakıt kullanılarak yapılan deneyler ile aynıdır. Fakat kayıp enerji açısından bakıldığında kayıp enerjinin dizel göre yükseldiği belirlenmiştir. Ayrıca, düşük yükte egzoz gazından meydana gelen enerji kaybı sadece dizel yakıt kullanıldığında sonuçlardan yüksek bulunmuştur. Bunun sebebi, biyogazın emme manifoldundan beslenmesi yanma performansını düşürecek oksijen eksikliğine sebep olabilir (Mustafi ve ark., 2013) (Barik ve Murugan, 2014; Karim, 2010). Dahası, biyogaz içerisinde bulunan hacimsel olarak %30 CO<sub>2</sub>’nin bulunması silindir içerisindeki oksijen konsantrasyonunu azaltmakta ve yanma alev hızını düşürmektedir (Cheenkachorn ve ark., 2013; Verma ve ark., 2018). Bu sebeplerden dolayı yanma işlemi tam olarak gerçekleşemez. Dolayısıyla aynı faydalı işi elde etmek için daha fazla yakıt tüketimine ve kayıpların artmasına sebep olmaktadır. Çift yakıtlı modda kayıp enerji %25 yükleme için 8,04 kW, %50 yükleme oranında 9,91 kW ve %75 yüklemede ise 12,36 kW olarak elde edilmiştir. Düşük yüklerde yanmanın tam olmamasından dolayı egzoz gazlarından meydana gelen kayıp dizel yakıt ile yapılan deneylere göre yüksek çıkmıştır. %25 yüklemede 0,84 kW ve %50 yüklemede 0,86 kW olarak tespit edilmiştir. Yükleme oranının %75 olduğunda egzoz gazlarından dolayı yakıp dizel ile karşılaştırıldığında %2’lik bir azalma göstererek 0,90 kW olarak hesaplanmıştır. Bunun sebebi ise yüksek yüklerde yanmanın düşük yüklerle göre daha iyi olduğudur (Yildiz ve Çalışkan, 2020).



(a)



(b)

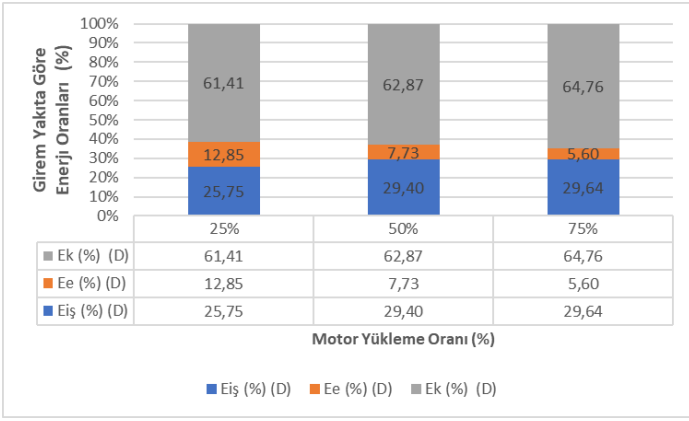
Şekil 2. Dizel Motorun Sadece Dizel Yakıtla (a), Çift Yakıtla (b) Çalışmasında Enerji Dağılımı

Şekil 3'te giren yakıtın enerji miktarına göre yüzdesel olarak enerji dağılımları sunulmuştur. Şekil 3 - a'da sadece dizel yakıt kullanılarak yapılan deneylerde yukarıda belirtildiği gibi yükleme oranının artmasıyla elde edilen faydalı işin yüzdesel olarak artışı açıktır. Motora %25 yükleme yapıldığında %25,75'i faydalı iş olarak elde edilirken, %50 ve %75 yükleme oranlarında sırasıyla %29,40 ve %29,64 oranlarında faydalı iş elde edilmiştir. %25 yüklemede egzoz gazı kayıpları diğer yüklemelere göre yüzdesel olarak daha fazladır. Bunun sebebi ise düşük yüklerde yanma işleminin tam gerçekleşmemesine ve giren enerji ile egzoz gazı kayıp enerjisinin arasındaki farkın küçük olmasına bağlanabilir (Yıldız ve Çalışkan, 2020). Giren yakıtın %12,85, %7,73 ve %5,60 egzoz kayıpları olarak sırasıyla %25, %50 ve %75 yükleme koşulları için hesaplanmıştır. Ayrıca, soğutma suyu ve sürtünmelerden meydana gelen kayıplara bakıldığında ise en yüksek kaybın %64,76 olarak %75 motor yükleme oranında olduğu bulunmuştur. Bunun nedeni ise yanma sıcaklığının artmasından ve sıcaklık farkının yükselmesinden kaynaklı ısı transferi ile olan kayıpların artmasından meydana gelmesidir (Goga ve ark., 2020). %25 yükte giren yakıt enerjisine göre kayıp %61,41 olarak hesaplanırken %50 yükleme oranında bu kayıp %62,87 olarak belirlenmiştir.

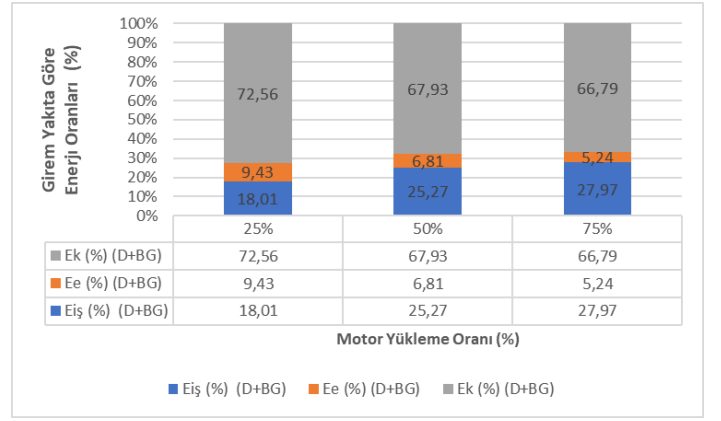
Şekil 3 - b'de ise çift yakıt sisteminin giren yakıt enerjisine göre enerji dağılım yüzdeleri verilmiştir. Elde edilen faydalı iş dizel yakıtı göre azalma eğilimi göstermiştir. Bunun sebebi alt ısı değerleri düşük olan biyogazın kullanılmasından kaynaklanmaktadır. Elde edilen faydalı iş %25, %50 ve %75 yükleme koşullarında sırasıyla %18,01, %25,27 ve %27,07

olarak hesaplanmıştır. Egzoz gazlarında kaynaklanan kayıplar dizel yakıtta gösterdiği trendi göstererek düşük yükten yüksek yüklerle doğru yüzdesel azalmıştır. Buda yükün artmasıyla yanmanın iyileştiğini göstermektedir. Çift yakıtlı sisteminde dizelden farklı olarak ısı transferi ve sürtünme kayıplarının egzoz gazlarına paralellik göstererek yükün artmasıyla azalmasıdır. %25 yükleme oranında hesaplanan kayıp %72,56 iken %50 ve %75 yükleme oranlarında kayıplar sırasıyla %67,93 ve %66,79 olarak bulunmuştur. Bunu olası nedeni ise biyogaz eklemesinin silindir içindeki oksijen oranının azalmasına ve yanmayı olumsuz etkilemesinden kaynaklanıyor olabilir (Barik ve Murugan, 2016; Verma ve ark., 2018). Ayrıca, biyogazın içerisinde bulunan CO<sub>2</sub>'nin alev oluşma hızını olumsuz etkilediği literatürde rapor edilmiştir (Mustafı ve ark., 2013; Verma ve ark., 2017). Dolayısıyla giren enerjinin büyük bir kısmı tam yanmanın olmamasından kaynaklı faydalı işe dönüştürülemeden kayıp olması ile sonuçlanmaktadır. Bu olay düşük yüklerdeki düşük yanma performansı ile birleşmesi sonucu kayıp oranı düşük yükte dizelin yakıtı elde edilen trendin tersi yönünde bir sonuç oluşmasına neden olmuştur.





(a)



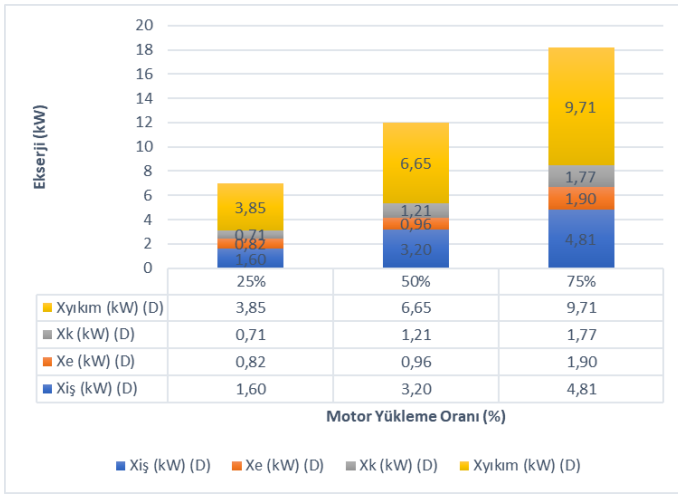
(b)

Şekil 3. Sadece Dizel (a) ve Çift Yakıt (b) Kullanımında Giren Yakıtta Göre Yüzdese Olarak Enerji Dağılımı

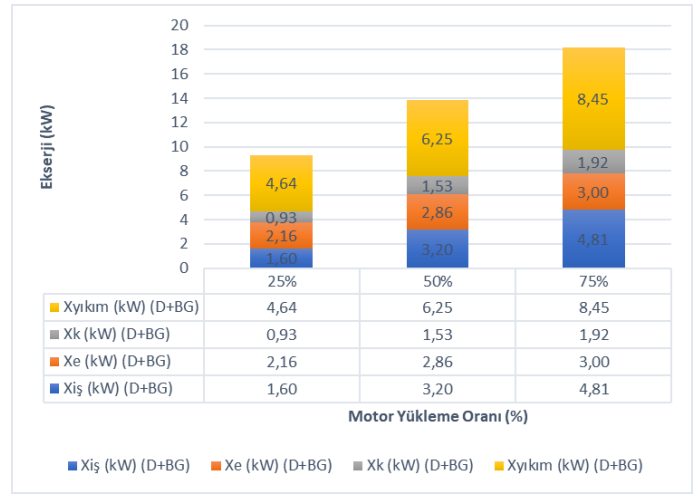
### 3.2. Ekserji Analizi

Şekil 4'de motorun tek yakıtlı veya çift yakıtlı çalışma prensibine bağlı olarak motor yüklemelerine göre ekserji dağılımı sunulmuştur. Şekil 4 - a'da sadece dizel yakıt kullanılarak gerçekleştirilen deneylerde elde edilen iş ekserjisi Denklem (17)'de ifade edildiği gibi iş enerjisine eşittir. Elde edilen faydalı iş ekserjisi %25, %50 ve %75 kısmı yüklemelerinde sırasıyla 1,60 kW, 3,20 kW ve 4,81 kW olarak belirlenmiş ve enerji dağılımında olduğu gibi motor yükünün artırılmasıyla arttığı tespit edilmiştir. Motor sadece dizel yakıtla çalıştırıldığında egzoz ekserji kayıpları enerji analizindeki gibi motor yükünün artmasıyla artmıştır. %25, %50 ve %75 yüklerde egzoz ekserji kayıpları sırasıyla 0,82 kW, 0,96 kW ve 1,90 kW olarak bulunmuştur. Bu artış egzoz gazlarının sıcaklık değerlerinin motor yüklemesiyle artmasının bir sonucudur. Soğutma suyuna transfer olan iş ekserjisi ise gene aynı yüklemelerde sırasıyla 0,71 kW, 1,21 kW ve 1,77 kW olarak hesaplanmıştır. Ekserji analizinin enerji analizinden en önemli çevreye atılan ekserji yıkımında ortaya konmasıdır. Bu yıkım sistemin tersinmezliklerinden kaynaklanmaktadır. Ekserji yıkımı sadece dizel yakıtla yapılan deneylerde 3,85 kW, 6,65 kW ve 9,71 kW olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlar literatürde bildirilen yanmaya bağlı tersinmezliklerin önemli olduğu görülmektedir (Verma ve ark., 2017). Ekserji yıkımında meydana gelen tersinmezlikler motor yükünün artması ile azalmaktadır. Bunu sebebi ise eksik yanma ile artan tersinmezlikler motor yükünün artmasıyla azalmaktadır (Yıldız ve Çalışkan, 2020).

Şekil 4 - b'de ise çift yakıtlı çalışan motor deneylerinin ekserji analizinin sonuçları verilmiştir. Ekserji analizinde egzoz kayıpları dizel motora göre %25 yükleme için 2,6 kat, %50 yükleme için 2,97 kat ve %75 yükleme için ise 1,58 kat daha yüksek çıkmıştır. Egzoz gazı ekserjileri sırasıyla 2,16 kW, 2,86 kW ve 3,00 kW olarak hesaplanmıştır. Bu farkın en önemli nedeni enerji analizinde egzoz gazları tam yanma sonucu oluşan gazlardan olduğu kabulü nedeniyle ortaya çıkmaktadır. Fakat, ekserji analizinde egzoz gazlarının birleşenleri hesaba katıldığı için ve çift yanma sisteminde CO egzoz gazlarında fazla olması nedeniyle egzoz kayıpları yüksek bulunmuştur. Eksik yanmanın göstergesi olan CO emisyonu yanmamış gazların entalpisinin yükseltmekte ve böylece egzoz gazı ekserjisi yüksek çıkmaktadır. Motor soğutma suyundan kaynaklı ekserji kayıpları ise %25, %50 ve %75 yükler için sırasıyla 0,93 kW, 1,53 kW ve 1,92 kW olarak belirlenmiştir. Bu değerlerde sadece dizel yakıtlı test ile karşılaştırıldığında daha yüksektir. Bu sebebi ise soğutma suyu sıcaklıkları her iki deney seti için yakın rakamlar ölçülse de ekserji kaybı, kayıp enerjinin bir fonksiyonu olduğundan çift yakıtlı sistemde daha yüksek çıkmaktadır. Yıkım ekserjisi ise 4,64 kW, 6,25 kW ve 8,45 kW olarak sırasıyla %25, %50 ve %75 yükler için hesaplanmıştır. Burada dizel yakıtta göre düşük çıkmasının sebebi, egzoz ve ekserji kayıplarının daha yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Burada da yanma olayındaki tersinmezlikler en büyük role sahiptir (Verma ve ark., 2017).



(a)



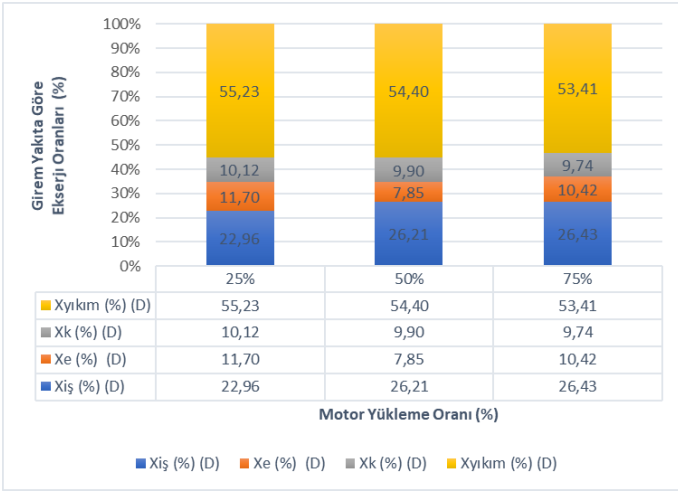
(b)

Şekil 4. Dizel Motorun Sadece Dizel Yakıtla (a), Çift Yakıtla (b) Çalışmasında Ekserji Dağılımı

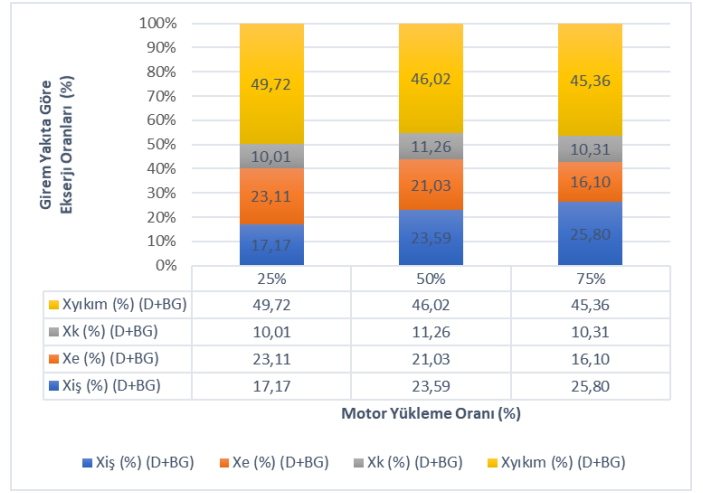
Şekil 5'te giren yakıtın enerji miktarına göre yüzdesel olarak ekserji dağılımları sunulmuştur. Şekil 5 - a'da tek yakıt kullanılarak yapılan deneylerdeki giren yakıtın toplam ekserjisine göre dağılımını göstermektedir. Faydalı iş olarak elde edilen ekserjinin motor yükü artmasıyla giren yakıtın faydalı işe çevrilme oranı artmaktadır. kısmi yüklerde elde edilen faydalı iş ekserji motor yüklemelerinde küçükten büyüğe doğru sırasıyla %22,96, %26,21 ve %26,43 olarak bulunmuştur. Bu artış yükün artması ile daha yüksek sıcaklıklara ve daha iyi bir yanma performansına ulaşmasıyla açıklanabilir (Barik ve ark., 2018). Egzoz ekserji kayıpları dikkate alındığında yukarıda bahsedildiği gibi ekserji değeri olarak düşük yüklerde daha düşük değer almasına rağmen yüzdesel olarak dikkate alındığında düşük yüklerde egzoz kayıp oranları daha yüksektir. %25 yüklemelerde egzoz kayıp ekserjisi %11,70 iken bu oran %50 yüklemelerde %7,85'lere kadar düşmektedir. Bu yanmanın iyileşmesinden kaynaklanmaktadır. Lakin, %75 yükleme oranında bu değer %10,42 değerlerine çıkmaktadır. Bu artışın sebebi yükün artması ile egzoz gazı sıcaklık değerinin artmasına bağlanabilir. Soğutma suyuna ısı transferinden dolayı geçen ekserji %25, %50 ve %75 yüklemeler için sırasıyla %10,12, %7,85 ve %9,74 olarak hesaplanmıştır. Ekserji yıkımı yukarıda bahsedildiği gibi tersinmezliklerin göstergesidir. Yanma reaksiyonlarında bu tersinmezlik yanmanın iyileşmesi yani teorik yanma noktasına yaklaşmasıyla azalır (Verma ve ark., 2019b). Şekilde görüldüğü gibi düşük yüklerde ekserji yıkımı daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Yüksek yükleme oranlarında sıcaklık artmasına rağmen ekserji dönüşüm oranı iyileşmesinden kaynaklı ekserji yıkımı azalmaktadır. Sadece dizel yakıt kullanılarak yapılan deneylerde ekserji yıkımı %25, %50 ve %75 yüklemelerde sırasıyla %55,23, %54,40 ve %53,41 olarak bulunmuştur. Ekserji yıkımlarındaki fark içten yanmalı motorların verimine doğrudan etki etmektedir. Hesaplanan değerler, yakıt ekserjisini önemli bir kısmının yanma işleminde yok olduğunu göstermektedir. Bu nedenle, bir yanma işleminin tersinmezliklerin son derece büyük olduğunu göstermektedir (Verma ve ark., 2019a). Elde edilen sonuçlar aslında enerji

analiziyle uyum göstermektedir, çünkü yakıtın ekserjisi yanma entalpilerinden sadece biraz farklıdır. Yanma, yakıt ve oksijenin kimyasal enerjisini yanma ürünlerinin entalpisine dönüştüren, entropi üreten ve enerji tüketen bir işlemdir (Verma ve ark., 2020). Bu işlem genellikle ısı transferinin yanı sıra sıvı sürtünmesi ve karıştırma ile aynı anda gerçekleşir (Verma ve ark., 2017; Verma ve ark., 2019b). Bu çalışmada bildirilen analizler hem kimyasal reaksiyon hem de ısı transferini içermektedir. Bu bahsedilen olaylardan dolayı ekserji yıkımı yüzdelere yüksek olması beklenen bir sonuçtur.

Şekil 5 -b'de çift yakıt sisteminde giren yakıtın ekserjisine göre ekserji dağılımı yüzdesel olarak verilmektedir. Grafikte dikkat çeken nokta egzoz gazlarının ekserji kayıplarının %15'in üzerinde olmasıdır. Çift yakıt sisteminde, biyogaz emme manifoldundan besleme yapılarak silindire içerisine verilmektedir. İçten yanmalı motorlarda egzoz gazlarının dışarı rahat atılması için emme ve egzoz subapları çok kısa süre beraber açık kalmaktadır. Bunun sonucu, silindir içerisine alınan biyogazın bir kısmı yanma reaksiyonuna katılmadan bu süre içerisinde silindiri terk ediyor olabilir (Barik ve Murugan, 2014). Bu da yanmamış gazların egzoz gazlarındaki yüzdelere artmasına sebep olur. Dolayısıyla egzoz kayıpları artmaktadır. %25, %50 ve %75 yükleme koşulları için egzoz kayıpları yüzdesel olarak sırasıyla %23,11, %21,03 ve %16,10 olarak bulunmuştur. Bu sonuçlar, yukarıdaki açıklamalarla paralellik göstererek yükün artmasıyla yanmanın iyileştiğini göstermektedir. Bu fenomenin dolayı, çift yakıtlı sistemde egzoz ekserji kayıpları sadece dizel kullanılarak yapılan deneylere göre yaklaşık olarak %25 yüklemelerde 2 kat daha fazladır. Ekserji yıkımı ise dizel yakıtı göre nispeten düşük bulunmuştur. %25, %50 ve %75 yükleme koşulları için ekserji yıkımı sırasıyla %49,72, %46,02 ve %45,36 olarak hesaplanmıştır. Bu azalmanın sebebi egzoz ekserjisindeki artış gösterilebilir.



(a)

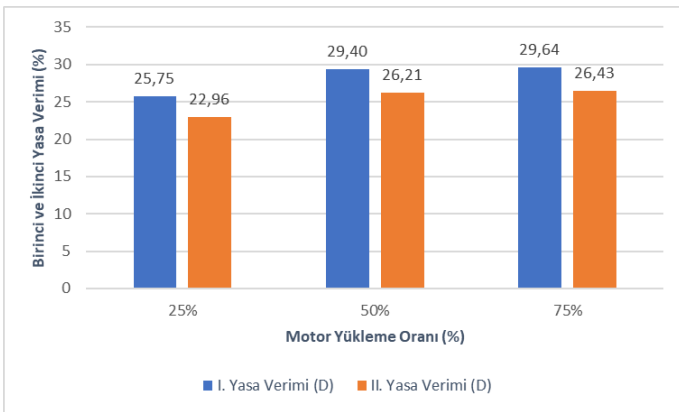


(b)

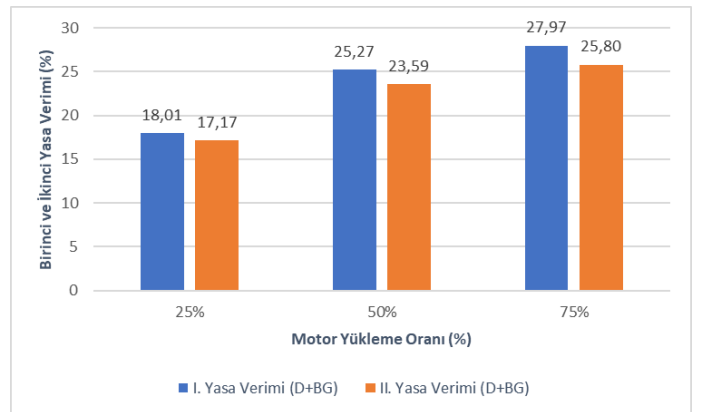
Şekil 5. Sadece Dizel (a) ve Çift Yakıt (b) Kullanımında Giren Yakıtta Göre Yüzdese Olarak Ekserji Dağılımı

Şekil 6'da dizel yakıtla çalıştırılan içten yanmalı motorun ve çift yakıtlı sistem kullanılarak 0,000125 kg/s'lik biyogaz beslemesi yapılarak elde edilen birincil ve ikincil yasa verimleri sunulmuştur. Şekil 6 - a ve b'de açıkça görüldüğü gibi tüm test koşullarında sistemin enerji (I. Yasa verimi) ekserji veriminden daha yüksek çıkmıştır. Sadece dizel kullanılarak yapılan deneylerde sistemin enerji verimi %25, %50 ve %75 yüklemeler için sırasıyla %25,75, %29,40 ve %29,64 olarak bulunmuştur. Diğer verileri destekleyecek şekilde yükün artması ile verimin artması elde edilmiştir. Bu yanma çevriminde elde edilen faydalı işin arttığını göstermektedir. Fakat, çift yakıtlı sistemde biyogaz eklenmesiyle enerji veriminde düşük yükte (%25) verim %18,01 olarak hesaplanmıştır. Bu da yanmanın en verimsiz olduğu koşul olduğunu ortaya koymaktadır. Yükün artmasıyla enerji verimi %50 için %25,27, %75 için %27,97'e ulaştığı belirlenmiştir.

Ekserji verimlerine bakıldığında aynı trendin olduğu dikkat çekmektedir. Ekserji verimi enerji veriminden düşük çıkmıştır. Bu nedenle, bir yanma işleminin tersinmezliklerin son derece büyük olduğudur (Verma ve ark., 2019a; Verma ve ark., 2019b). Yanma, yakıt ve oksijenin kimyasal enerjisini yanma ürünlerinin entalpisine dönüştüren, entropi üreten ve enerji tüketen bir işlem olmasıyla açıklanabilir (Verma ve ark., 2018; Verma ve ark., 2020). Sadece dizel yakıtı kullanıldığında, %25, %50 ve %75 yükleme koşulları için ekserji verimliliği sırasıyla %22,96, %26,21 ve %26,43 olarak hesaplanmıştır. Çift yakıtlı sistemde ise bu değerler %17,17, %23,59 ve %25,80 olarak bulunmuştur.



(a)



(b)

Şekil 6. Sadece Dizel (a) ve Çift Yakıt (b) Deney Düzeninde Enerji ve Ekserji Verimleri

## 4. Sonuç

Bu çalışmada, çift yakıtlı sistemde dizel motorda biyogaz ilave edilerek motor kısmi yüklerin etkilerini incelemek için deneysel bir değerlendirme yapılmıştır. Üç kısmi yük koşulu kullanılarak, çift yakıtlı motorun performansı, birinci ve ikinci yasa analizleri yapılmış ve bu sonuçlar sadece dizel kullanılarak elde edilen veriler ile karşılaştırılmıştır. Yukarıdaki sonuçlara ve tartışmaya dayanarak, bu çalışmadan aşağıdaki sonuçlar elde edilebilir;

1. Enerji ve ekserji analizlerine göre en iyi motor performansı %75 yük koşulunda elde edilmiştir.
2. Yükün azalması ile hem dizel yakıtta hem de dizel-biyogaz yakıtında eksik yanmadan kaynaklı enerji ve ekserji verimlerinde azalmalar meydana gelmektedir.
3. Yapılan ekserji analizinde yanma, tersinmezliklerin arasında en yüksek tersinmezlik kaynağı olarak bulunmuştur. Ayrıca, çift yakıtlı modda önemli ölçüde egzoz gazlarından kaynaklı ekserji kayıpları tespit edilmiştir. Bu egzoz kaybını engellemek için püskürtme zamanlaması ve sıkıştırma oranları gibi motor çalışma parametrelerinin optimizasyonu araştırılmalıdır.
4. Çift yakıtlı modda düşük yükleme oranlarında tam yanmanın sağlanmamasının nedeni biyogaz içerisindeki CO<sub>2</sub> oranına yüksek olmasıdır. Bu oranın düşürülmesi veya H<sub>2</sub> gibi kalorifik değeri daha yüksek ilave gazların kullanılması motor performansını olumlu katkı yapıp yapmadığı araştırılmalıdır.

Yüksek yükleme oranlarında çift yakıtlı modda biyogaz, enerji ve ekserji veriminde aşırı bir düşüş olmadan ve herhangi bir büyük motor modifikasyonu yapmadan alternatif bir biyo yakıt kaynağı olarak kullanılabilir. Bununla birlikte, çift yakıtlı sistemde düşük yüklerde biyogazdan daha iyi performans elde etmek için, çalışma parametrelerinde önemli değişiklikler gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.

## 5. Teşekkür

Yazar bu çalışmayı gerçekleştirebilmesi için laboratuvar imkânlarını kullanmasına izin veren kıymetli hocalarına; Prof. Dr. Sebahattin Ünalın, Prof. Dr. Nafiz Kahraman ve Prof. Dr. Selahaddin Orhan Akansu'ya teşekkürlerini sunar.

## Kaynakça

- Atelge, M. R., Atabani, A. E., Abut, S., Kaya, M., Eskicioglu, C., Semaan, G., ve ark. (2021). Anaerobic co-digestion of oil-extracted spent coffee grounds with various wastes: Experimental and kinetic modeling studies. *Bioresource Technology*, 322, 124470.
- Atelge, M. R., Krisa, D., Kumar, G., Eskicioglu, C., Nguyen, D. D., Chang, S. W., ve ark. (2020). Biogas Production from Organic Waste: Recent Progress and Perspectives. *Waste and Biomass Valorization*, 11(3), 1019-1040.

- Atelge, R. (2021). Türkiye'de Sığır Gübresinden Biyoyakıt Olarak Biyogaz Üretim Potansiyeli ve 2030 ve 2053 Yıllarında Karbon Emisyonlarının Azaltılmasına Öngörülen Etkisi. *International Journal of Innovative Engineering Applications*, 5(1), 56-64.
- Bari, S. (1996). Effect of carbon dioxide on the performance of biogas/diesel dual-fuel engine. *Renewable Energy*, 9(1), 1007-1010.
- Barik, D., Kumar, A., ve Murugan, S. (2018). Effect of Compression Ratio on Combustion Performance and Emission Characteristic of a Direct Injection Diesel Engine Fueled with Upgraded Biogas–Karanja Methyl Ester–Diethyl Ether Port Injection. *Energy & Fuels*, 32(4), 5081-5089.
- Barik, D., ve Murugan, S. (2014). Investigation on combustion performance and emission characteristics of a DI (direct injection) diesel engine fueled with biogas–diesel in dual fuel mode. *Energy*, 72, 760-771.
- Barik, D., ve Murugan, S. (2016). Experimental investigation on the behavior of a DI diesel engine fueled with raw biogas–diesel dual fuel at different injection timing. *Journal of the Energy Institute*, 89(3), 373-388.
- Bora Bhaskor, J., ve Saha Ujjwal, K. (2016). Theoretical Performance Limits of a Biogas–Diesel Powered Dual Fuel Diesel Engine for Different Combinations of Compression Ratio and Injection Timing. *Journal of Energy Engineering*, 142(2), E4015001.
- Bora, B. J., ve Saha, U. K. (2016). Experimental evaluation of a rice bran biodiesel – biogas run dual fuel diesel engine at varying compression ratios. *Renewable Energy*, 87, 782-790.
- Bora, B. J., Saha, U. K., Chatterjee, S., ve Veer, V. (2014). Effect of compression ratio on performance, combustion and emission characteristics of a dual fuel diesel engine run on raw biogas. *Energy Conversion and Management*, 87, 1000-1009.
- Börjesson, P., ve Mattiasson, B. (2008). Biogas as a resource-efficient vehicle fuel. *Trends in Biotechnology*, 26(1), 7-13.
- Çakmak, A., ve Bilgin, A. (2017). Exergy and energy analysis with economic aspects of a diesel engine running on biodiesel-diesel fuel blends. *International Journal of Exergy*, 24(2-4), 151-172.
- Cheenkachorn, K., Poompipatpong, C., ve Ho, C. G. (2013). Performance and emissions of a heavy-duty diesel engine fuelled with diesel and LNG (liquid natural gas). *Energy*, 53, 52-57.
- Duc, P. M., ve Wattanavichien, K. (2007). Study on biogas premixed charge diesel dual fuelled engine. *Energy Conversion and Management*, 48(8), 2286-2308.
- Goga, G., Chauhan, B. S., Mahla, S. K., Dhir, A., ve Cho, H. M. (2020). Effect of varying biogas mass flow rate on performance and emission characteristics of a diesel engine fuelled with blends of n-butanol and diesel. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 140(6), 2817-2830.
- Henham, A., ve Makkar, M. K. (1998). Combustion of simulated biogas in a dual-fuel diesel engine. *Energy Conversion and Management*, 39(16), 2001-2009.
- Huang, J., ve Crookes, R. J. (1998). Assessment of simulated biogas as a fuel for the spark ignition engine. *Fuel*, 77(15), 1793-1801.

- Jadhao, J. S., ve Thombare, D. G. (2013). Review on exhaust gas heat recovery for IC engine. *International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT) Volume, 2*.
- Karaağaç, M. O., Kabul, A., ve Oğul, H. (2019). First-and second-law thermodynamic analyses of a combined natural gas cycle power plant: Sankey and Grossman diagrams. *Turkish Journal of Physics, 43(1)*, 93-108.
- Karim, G. A. (2010). Combustion in Gas-fueled Compression Ignition Engines of the Dual Fuel Type *Handbook of Combustion* (pp. 213-235).
- Kiliç, B., ve Osman, İ. (2019). Thermodynamic Analysis of The Organic Rankine Cycle Using Diesel Engine Waste Heat Recovery. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi(15)*, 112-117.
- Kumar Sharma, P., Sharma, D., Lal Soni, S., Jhalani, A., Singh, D., ve Sharma, S. (2020). Energy, exergy, and emission analysis of a hydroxyl fueled compression ignition engine under dual fuel mode. *Fuel, 265*, 116923.
- Luijten, C. C. M., ve Kerkhof, E. (2011). Jatropha oil and biogas in a dual fuel CI engine for rural electrification. *Energy Conversion and Management, 52(2)*, 1426-1438.
- Matuszewska, A., Owczuk, M., Zamojska-Jaroszewicz, A., Jakubiak-Lasocka, J., Lasocki, J., ve Orliński, P. (2016). Evaluation of the biological methane potential of various feedstock for the production of biogas to supply agricultural tractors. *Energy Conversion and Management, 125*, 309-319.
- Mohamed Ibrahim, M., Varuna Narasimhan, J., ve Ramesh, A. (2015). Comparison of the predominantly premixed charge compression ignition and the dual fuel modes of operation with biogas and diesel as fuels. *Energy, 89*, 990-1000.
- Mustafi, N. N., Raine, R. R., ve Verhelst, S. (2013). Combustion and emissions characteristics of a dual fuel engine operated on alternative gaseous fuels. *Fuel, 109*, 669-678.
- Sorathia, H. S., ve Yadav, H. J. (2012). Energy analyses to a ci-engine using diesel and bio-gas dual fuel—a review study. *world, 1(5)*.
- Subramanian, K. A., Mathad, V. C., Vijay, V. K., ve Subbarao, P. M. V. (2013). Comparative evaluation of emission and fuel economy of an automotive spark ignition vehicle fuelled with methane enriched biogas and CNG using chassis dynamometer. *Applied Energy, 105*, 17-29.
- Tippayawong, N., Promwungkwa, A., ve Rerkkriangkrai, P. (2007). Long-term operation of a small biogas/diesel dual-fuel engine for on-farm electricity generation. *Biosystems Engineering, 98(1)*, 26-32.
- Verma, S., Das, L. M., ve Kaushik, S. C. (2017). Effects of varying composition of biogas on performance and emission characteristics of compression ignition engine using exergy analysis. *Energy Conversion and Management, 138*, 346-359.
- Verma, S., Das, L. M., Kaushik, S. C., ve Bhatti, S. S. (2019a). The effects of compression ratio and EGR on the performance and emission characteristics of diesel-biogas dual fuel engine. *Applied Thermal Engineering, 150*, 1090-1103.
- Verma, S., Das, L. M., Kaushik, S. C., ve Tyagi, S. K. (2018). An experimental investigation of exergetic performance and emission characteristics of hydrogen supplemented biogas-diesel dual fuel engine. *International Journal of Hydrogen Energy, 43(4)*, 2452-2468.
- Verma, S., Das, L. M., Kaushik, S. C., ve Tyagi, S. K. (2019b). An Experimental Comparison of Enriched Biogas and CNG on Dual Fuel Operation of a Diesel Engine. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 264*, 012004.
- Verma, S., Kumar, K., Das, L. M., ve Kaushik, S. C. (2020). Effect of Hydrogen Enrichment Strategy on Performance and Emission Features of Biodiesel-Biogas Dual Fuel Engine Using Simulation and Experimental Analyses. *Journal of Energy Resources Technology, 143(9)*.
- Yıldız, İ. b., ve Çalışkan, H. (2020). Motor Yüküne Bağlı Olarak Biyodizel Yakıtlı Bir Dizel Motorun Enerji Ve Ekserji Analizi Sonuçlarının Değerlendirilmesi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 8(3)*, 833-843.



## Endüstri 5.0 (Toplum 5.0) ve Mimarlık

Elif Gizem Yetkin<sup>1\*</sup>, Kemal Coşkun<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Alanya Hamdullah Emin Paşa Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Antalya, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-8775-8313), [gizemtelli@gmail.com](mailto:gizemtelli@gmail.com)

<sup>2</sup> Alanya Hamdullah Emin Paşa Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Antalya, Türkiye (ORCID: 0000-0003-2631-7543), [kemalcsknn@gmail.com](mailto:kemalcsknn@gmail.com)

(İlk Geliş Tarihi 11 Temmuz 2021 ve Kabul Tarihi 9 Eylül 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.969631)

**ATIF/REFERENCE:** Yetkin, E. G. & Coşkun, K. (2021). Endüstri 5.0 (Toplum 5.0) ve Mimarlık. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (27), 347-353.

### Öz

Endüstri devrimleri içinde buldukları dönem ve dönemin şartlarına göre çok önemli birer dönüşüm süreci olmuşlardır. Bu süreçler yalnızca endüstri alanında değil beraberindeki birçok disiplin ve alanda değişim getirmiştir. Bu gelişmelere paralel olarak insanların yaşam biçimleri, alışkanlıkları ve çalışma standartları da farklılaşmıştır. Birinci sanayi devrimi ile birlikte üretim safhasında yer alan kas gücüne su ve buhar gücünün kullanımı eklenmiş, elektriğin keşfi ile birlikte ikinci sanayi devriminde seri üretim yöntemi yaşamımıza dahil olmuştur. Bilgisayarlar, üçüncü sanayi devrimi dönüşüm döneminde teknolojiye yaşanan gelişmeler neticesinde günlük yaşamımıza ve üretim sürecine girmiştir. Dördüncü sanayi devrimi de ürün ve hizmetlerin hızlı, toplu ve sistematik bir şekilde üretilmesi için teknolojiyi üretim safhasına entegre eden bir dönüşüm süreci olmuştur. Son olarak ise üretim safhasına entegre olan teknolojinin toplum için bir tehdit unsuru olarak değil de tam tersi topluma yardımcı bir unsur olarak değerlendirilmesi gerektiğini temeline dayanan beşinci sanayi devrimi, diğer bir ifadeyle Endüstri 5.0 (Toplum 5.0) yaşamımıza girmiştir. Bu yeni dönüşüm sürecinin de ilk dört endüstri devriminin çeşitli disiplin ve alanlardaki etkileri gibi birtakım etkileri vardır. Bu çalışmada öncelikle ilk dört sanayi devriminin Mimarlık alanındaki etkileri incelenerek endüstriyel devrim sürecinin son aşaması olan Endüstri 5.0'ın Mimarlık alanındaki mevcut ve potansiyel etkilerinin tespit edilmesi amaçlanmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Endüstri Devrimleri, Endüstri 5.0, Toplum 5.0, Mimarlık.

## Industry 5.0 (Society 5.0) ve Architecture

### Abstract

Industrial revolutions have been a very important transformation process according to the period and the conditions of the period. These processes have brought changes not only in the industry but also in many disciplines and fields. Parallel to these developments, people's lifestyles, habits and working standards have also changed. With the first industrial revolution, the use of water and steam was added to the muscle power in the production phase, and with the discovery of electricity, mass production methods were included in our lives in the second industrial revolution. Computers have entered our daily life and production process as a result of the developments in technology during the transformation period of the third industrial revolution. The fourth industrial revolution is a transformation process that integrates technology into the production phase for the rapid, collective and systematic production of products and services. Finally, the fifth industrial revolution in other words Industry 5.0 (Society 5.0) which is based on the fact that the technology integrated into the production phase should not be considered as a threat to the society but as a helpful element to the society has entered our lives. This new transformation process has some effects like the effects of the first four industrial revolutions in various disciplines and fields. In this study, it is aimed to determine the current and potential effects of Industry 5.0 which is the last stage of the industrial revolution process in the field of Architecture by examining the effects of the first four industrial revolutions in the field of Architecture.

**Keywords:** Industrial Revolutions, Industry 5.0, Society 5.0, Architecture.

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

## 1. Giriş

Tüm toplumlarda, tüm disiplinlerde hatta daha geniş bir çerçeveden bakmak gerekirse yaşamımızda yer alan bütün konularda bir değişim ve gelişim olduğu açıktır. Bu farklılaşma ve ilerleme sürecinde yer alan en önemli alanlardan birisi de endüstridir. Endüstri, bir ülkenin veya bir toplumun eğitim seviyesi, gelişmişlik düzeyi, üretim ve tüketim seviyeleri gibi birçok göstergesi hakkında fikir verir. Endüstri gücü ve kapasitesi ile endüstri gelişimine olan adaptasyon hızı yüksek olan toplumlar aynı doğrultuda farklı disiplin ve alanlarda da gelişme gösterir.

Değişim ve gelişim özünde ihtiyaçların karşılanma arzusundan buna bağlı olarak da beğeni ve taleplerin değişmesinden kaynaklanır. Endüstri de bu hareketlilik karşısında çağın bir gerekliliği olarak kendisini geliştirmiştir. Bu hareketlilik sürecinde toplumunun refahı, huzuru ve mutluluğunu sağlamakla görevli olan devletler, buluş ve fikirleriyle insanlığa katkıda bulunmaya çalışan bilim insanları ile toplum ihtiyaçlarını karşılayacak olan mal veya hizmetleri üretmek amacıyla iktisadi bir girişimde bulunan kurum ve kuruluşlar sürecin aktörleri arasında yer almaktadır. İlerleyen süreçte dünya nüfusunda yaşanan artış buna bağlı olarak üretim ve tüketimin artması, teknoloji alanında yaşanan gelişmeler her alanı etkilemiştir. Ekonomi, finans, işletme, hukuk, sağlık, sosyoloji, mühendislik, mimarlık vb. gibi alanlar bu süreçte etkilenen önde gelen alanlar arasında yer almaktadır. Bu alanlar, dönemin şartlarına göre belirli formlara kavuşarak her geçen gün sahip oldukları bilgi birikimlerini arttırmıştır.

Bu çalışmada da öncelikle endüstrinin tarihsel gelişimi incelenerek, mimarlık alanındaki etkilere yer verilmiştir. Daha sonra henüz yeni bir kavram olan ve odağında toplum olan Endüstri 5.0, diğer bir ifade ile Toplum 5.0 değerlendirilmiştir. Son olarak ise bu yeni kavramın mimarlık alanında hangi konumda olduğu ile bu alandaki mevcut ve potansiyel etkileri ele alınmıştır.

## 2. Endüstri Devrimleri Tarihi

Milattan önceki yıllarda toprak ana sermaye unsurudur. Bu dönemlerde tarım ile yaşamlarını idame ettiren toplumlar uzun yıllar boyunca üretimlerini kas gücüyle ve işlerini bir miktar daha kolaylaştırabilmek adına geliştirdikleri aletlerle yapmışlardır. Bu devirlerde yaşayan insanların ana sermaye unsurları ve iş güçleri başlıca üretim aracı olarak değerlendirilmektedir. Uzun yıllar boyunca süregelen bu durum, teknoloji ve bilgi birikiminin de artmasıyla birlikte üretimin fabrikalara taşınmasını sağlamıştır. Sanayi devrimi olarak da adlandırılan bu dönüşüm insan hayatının bütün alanlarında yeni bir düzenlemeye ortam hazırlamıştır (Günay, 2002).

Endüstri 1.0 veya daha yaygın kullanımı ile birinci sanayi devrimi İngiltere’de başlamıştır ve bu devrim iki aşamada değerlendirilmektedir. Birincisi bu devrime konu olan icatların ortaya çıkışı ile bu icatların kullanımının ilk yıllarıdır. İkincisi ise bu yararlı ve yeni teknolojilerin İngiltere’den diğer ülkelere taşınma safhasıdır. İngiltere’de bolca bulunan ve tam tersi bir şekilde bölgede bulunmayan veya kıt olan kaynaklar için birtakım çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmaların sonucunda su ve buharın kullanımı gibi yeni girişimler birçok fabrikada uygun maliyetli üretime ortam hazırlamıştır (Allen, 2009).

Üretim ve sermayede yaşanan artış diğer ülkelerle etkileşimi arttırmış ve yaşanan bu dönüşümün diğer ülkelere de sıçramasına neden olmuştur. Avrupa ve Amerika gibi kıtalara da sıçrayan bu yenilik, bölgelerde sermaye ve bilgi birikimlerinde de artış getirmiştir.

Endüstri 2.0 veya bazı kaynaklarda Teknoloji Devrimi olarak da adlandırılan ikinci sanayi devriminin temelinde daha önce basit mekanik sistemlerle yapılan üretimin ihtiyaç duyduğu enerjiyi elektrikten almaya başlaması yatmaktadır. Jovens (1931), Amerika’da 1865-1896 ve Avrupa’da 1983-1894 yılları arasında fiyatlarda yaşanan büyük düşüşlerin, üreticilerin maliyetleri düşürme noktasında çok fazla mesai harcamalarına neden olduğunu belirtmiştir. Bu çalışmaların sonucunda bir ürün ya da bir ürün grubunun aynı anda yüzlerce ya da binlerce sayıda arka arkaya üretilmesi esasına dayanan seri üretim yönteminin Amerika’da bulunması düşen fiyatlar karşısında oldukça başarılı bir çözüm olarak değerlendirilmiştir. Pamuk, kağıt, gıda, saat gibi ürün ve ürün gruplarında kullanılan yeni üretim yöntemi zamanla daha da yaygınlaşarak sürekli bir üretim yöntemi haline gelmiştir.

Birinci ve ikinci sanayi devrimi birçok yönden farklı olsa da her biri endüstri alanında üretim süreçlerini temelden değiştirecek farklı yeni teknolojiler üzerine inşa edilmiştir. Ayrıca bu yeni teknolojilerin benimsenmesi, üreticilerin üretim hacimlerini arttırmasına olanak sağlamıştır. Yaşanan bu hacim artışı da topluma daha yüksek yaşam standartları sağlamıştır. Endüstri 3.0 veya diğer bir ifade ile üçüncü sanayi devrimine gelindiğinde dönüşümün merkezinde internet yer almaktadır. İnsanların birbirleriyle iletişim kurma, kendilerini ifade etme ve eğlence biçimlerini dahi etkileyen internet, şirketlerin ve bireylerin çalışma biçimlerini yeniden şekillendirmiştir (Smith, 2001). Bu dönüşümün merkezinde yer alan internetin yanında, teknolojinin ve haberleşme olanaklarının gelişmesi, mevcut enerji kaynaklarının bir sınırı olduğunun fark edilmesiyle yenilenebilir enerji kaynaklarına gösterilen ilginin artması ve bilgisayarların sektörlere dahil olması gibi birçok gelişme yer almaktadır. 20. yüzyılın ikinci çeyreğinde geliştirilen çeşitli algılayıcılardan aldığı bilgiyi kendisine tanımlanan programa göre işleyen ve elde ettiği bulguları aktaran mikro işlemciler sanayi sektöründe yeni bir dönem başlatmıştır. Bu yeni dönem, insan ve makinelerin üretim sürecini paylaşmalarını ve üretimin sayısallaşmasını sağlamıştır.

Endüstri 4.0 kavramı, ilk kez Alman hükümeti tarafından Kasım 2011’de ileri teknoloji stratejisi olarak yayımlanan bir makalede görülmüştür. Nisan 2013’te Almanya’nın Hannover kentinde gerçekleşen bir sanayi fuarında tekrar adından söz ettiren Endüstri 4.0 geniş çapta bir ilgi uyandırmıştır ve birçok sektör için takip edilmesi gereken bir konu haline gelmiştir (Zhou, Lio & Zhou, 2015). Schwab (2020), Endüstri 4.0’ı veya diğer bir ifade ile dördüncü sanayi devrimini, üçüncü sanayi devrimi üzerine inşa edilen, bünyesinde hız, kapsam ve sistem etkisi unsurlarını barındıran bir dönüşüm süreci olarak tanımlamıştır. Önceki sanayi devrimleri ile karşılaştırıldığında bu yeni dönüşümün sahip olduğu gelişim ve değişim hızının kat ve kat fazla olduğunu ve bu dönüşüm sürecinin getirdiği genişlik ve derinliğin tüm üretim ve yönetim sistemlerinde yaşanacak olan dönüşümlerin habercisi olduğunu belirtmiştir. Ayrıca daha önce eşi görülmemiş bir işlem gücü ve depolama kapasitesi ile bilgiye erişim noktasında sunduğu olanakların sınırsız olduğunu ve bu olanakların yapay zekâ, robotik, otonom araç ve gereçler, üç boyutlu baskı makineleri, nanoteknoloji, biyoteknoloji,

malzeme bilimi, enerji ve kuantum gibi alanların ilerleme ve atılım sürecinde çok önemli bir noktada olduğunu ifade etmiştir.

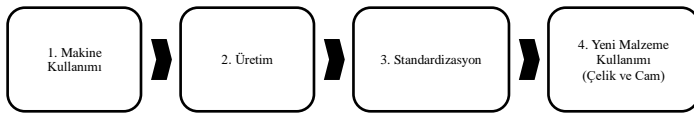


Şekil 1. Endüstri Devrimi Süreci

Genel olarak değerlendirildiğinde Şekil 1’de de görüleceği üzere, endüstri veya diğer bir adıyla sanayi içinde bulunduğumuz dönem itibariyle tarihsel süreç içerisinde beş farklı dönemde ele alınabilir. Su ve buhar gücünün üretimde kullanılmasıyla devam eden üretim faaliyetleri Endüstri 1.0 dönemi ile nitelendirilmektedir. Daha sonra elektriğin keşfi ve seri üretimlerin başlaması Endüstri 2.0 dönemi kapsamında ele alınır. Teknolojide yaşanan gelişmeler ve bu gelişmelerin insan yaşamına etkilerinin de artmasıyla birlikte dijital ve teknolojik bir takım ürün ve hizmetler ortaya çıkmıştır. Bu gelişim de Endüstri 3.0 döneminde ele alınmaktadır. Endüstri 4.0 ise mevcut teknolojik gelişmelerin ve faaliyetlerin de bir adım öteye taşındığı, nesnelerin interneti, bulut teknolojisi, yapay zeka gibi bilişim hizmetlerinin kullanımını kapsayan endüstri devrimi olarak ifade edilmektedir. Son olarak ise henüz yeni bir kavram olan ve teknolojinin bir tehdit unsuru olarak değil de insan yaşamı için yardımcı bir unsur olduğunu savunan Endüstri 5.0 gündemimizde yer almaktadır. Bu endüstri devrimi aynı zaman da Toplum 5.0 olarak da adlandırılmaktadır.

### 3. Endüstri Devrimlerinin Mimarlık Alanındaki Etkileri

Mimaride kullanılan teknikler hem coğrafi koşulların değişimi hem de kullanıcı ihtiyaçlarının farklılaşmasıyla tarih boyunca sürekli değişim göstermiştir. Endüstrileşme ile yaşanan teknik gelişmeler mimari alanda yeni malzeme ve tekniklerin kullanılmasını sağlamıştır. Sanayi devrimi ile birlikte mimari mevcut kimliğinden çıkıp yepyeni bir kimlik arayışına girmiştir. Bu süreçte geleneksel mimarlık kavramları tekrar ele alınmıştır. Bu gelişim ve değişim süreci teknolojik gelişmelerin hızına paralel olarak ilerlemeye devam etmektedir.



Şekil 2. Endüstri Devriminin Mimari Üzerindeki Etkileri

18. yüzyılda İngiltere’de sanayi devrimi ile başlayan süreç insanlık tarihinde olduğu gibi mimarlık tarihi açısından da büyük değişimlerin başlangıç noktası olmuştur. Literatürde Endüstri 1.0’dan önce çoğunlukla halkın tarım ve hayvancılıkla uğraştığı köy yerleşimleri bulunmaktaydı. Endüstri 1.0 ile birlikte şehirler önemi artmaya başladı ve şehirler hızlı bir gelişim sürecine girdi. Bu süreçte ulaşım alanında yaşanan gelişmeler de şehir yerleşimlerinin şekillenmesinde doğrudan etkili olmuştur. Ancak mimariyi derinden etkileyen gelişim demirin bir yapı malzemesi olarak kullanılmasıyla farklı özelliklerde yapıların inşasına

olanak sağlanması olmuştur. Ayrıca insanların mimariye olan yaklaşımları da değişim göstermeye başlamış ve insanların gösterişli yapılara olan bakış açısı da değişmiştir. İnsanlar Gotik yapılardan daha çok endüstriyel tipte yapılar tasarlamaya başlamışlardır. Gotik yapıların yalnızca insanları etkilemek için tasarlandığı bu dönem artık sona ermiş yepyeni bir bakış açısı ortaya çıkmıştır. Böylece gösterişten uzak fonksiyon olarak daha etkin olan basit yapı tasarımları başlamıştır. Sanayi devrimi mimariyi derinden etkileyerek artık süslü mimariye gerek olmadığını düşünmektedir. İnsanlar Gotik yapılardan daha çok endüstriyel tipte tasarım yapmaya başlamıştı. Bu dönemde ortaya çıkan hafiflik ve saydamlık kavramları mimari anlamda çeşitlenmede etkili olmuştur. O dönemde bazı mimarlar zaten endüstriyel bakış açısının taraftarıydı ve basit yapı tasarımında oldukça istekli olmuşlardır. Mimarlar endüstriyel gelişmelerle birlikte yapıları tasarlamak için birçok seçeneğe sahip olmaya başlamışlardı. Bu dönem aynı zamanda modern mimarinin de başlangıcı olarak adlandırılmıştır. Fakat zamanla bazı tasarımcılar eski mimari üsluba geri dönme isteği ile farklı çalışmalar yaparak yeni teknoloji ile eski tasarım öğelerini birleştirmeyi denemişler ve ardından Gotik canlanma ve Art Nouveau gibi akımlar ortaya çıkmıştır.

Yapı endüstrisi 1890’dan sonra hızla değişim göstermiştir. Araba, kamyon, traktör, tank, uçak gibi taşıtların üretiminin yapıldığı ikinci sanayi devriminin çıktıkları mimari bilgiyi ve yeni mimari üretim süreçlerini ortaya çıkarmıştır. Endüstriyel yapı inşasının çarpıcı örnekleri bu dönemde ortaya çıkmaya başlamıştır. Hatta mimar Albert Kahn da (1869-1942) bu endüstrileşmeyi en iyi sembolize eden mimarlardan biri olmuştur (Zimmerman, 2017). Son teknoloji mekanik sistemlerin basit ama ustaca yapılandırılmış tasarımlarla birleştiği Kahn için yapılarıdaki enerji dağıtımını önemliydi. Endüstri 2.0’ın üretime olan etkisi Kahn’ın tasarladığı yapılarda açıkça ortaya konmuştur. Malzeme üretimi alanında ortaya çıkan hızlı gelişim ve değişim süreci uygulama tekniklerini de geliştirmiştir. Kahn’ın eklektik mimari kaplamaların modern teknolojiyle radikal birleşimi Detroit’teki Woodward Caddesi’ndeki Beth El Tapınağı (1922) yapısında açık bir şekilde görülmektedir. Bununla birlikte uluslararası üslupta olan evrenselleşme isteğinin 19. yüzyılın eklektik üslubuna tepki veren modern mimarların, bu tepkilerinden dolayı geleneksel olandan yararlanamamalarından kaynaklandığını savunmaktadır. Bu yüzden mimarlar, gelenekten endüstri devrimine geçişi sağlıklı bir şekilde yapamamış hem çağdaş hem geleneksel olmayı başaramamışlardır (Özer, 2018).

Büyük Durgunluk, bazı açılardan ikinci sanayi devriminin sonunun ve ekonomist Jeremy Rifkin’in aynı başlıklı kitabında üçüncü sanayi devrimi olarak adlandırdığı dönüşümün başlangıcının sinyalini vermiştir. Bu tür krizlerden büyük zarar gören ve toparlanma süreci çokta hızlı olmayan mimarlık mesleği için sanayi devrimleri önemli başlangıçlara ve sıçramalara olanak sağlamaktadır. Sanayi devrimleri hemen hemen her şeyin yeniden tasarlanmasını gerektirirken mimarlığın gelişiminin sağlanması için bu süreçlerde eski uygulamalara saplanıp kalmak yerine yeni teknolojilerin yarattığı çok çeşitli tasarım fırsatlarının değerlendirilmesi gerekmektedir.

Üçüncü sanayi devriminin önceki iki sanayi devrimi gibi yeni yapı türlerinin gelişimine büyük katkı sağladığı bilinmektedir. 20. yüzyılda şehirler tek kullanımlık bölgelere ayrılmış ve özel kullanım alanlarıyla dolu tekil amaçlar için



birçok yapı inşa edilmiştir. Bu, ayrıştırma ve uzmanlaşmaya dayalı eski ekonomilerde mantıklı olsa da yeni ekonomide - yaşama, çalışma ve yapma arasındaki akışkanlıkla karakterize edilen- amaca yönelik yapıların hızla modası geçeceği tahmin edilmekteydi. Bu dönemde yapılan yapıların yüksek tavanlı, ağır inşaatlı ve insanların kendi alanlarını kitlesel olarak kişiselleştirmelerine izin veren açık planlı, değiştirilebilir bir karaktere sahip olduğu görülmektedir.

Sanayi devrimlerinin teknolojik gelişmelere dayalı sosyal ve ekonomik yapıları etkileyen paradigma değişimleri ile insanlık tarihine damgasını vurduğu söylenebilir. Günümüzde algımızda ve dünya ile etkileşimlerimizde benzer radikal değişikliklerin yaşandığı görülmektedir. Bu süreç Endüstri 4.0 olarak adlandırılmaktadır. 20. yüzyılın sonunda ve internet ve telekomünikasyon sistemleri tarafından yönlendirilen fiziksel, dijital, biyolojik ve tasarım alemlerinden emsalsiz bir “teknoloji birleşimi” önceki paradigmaları alt üst etmiştir. Dördüncü sanayi devrimi, teknolojinin tüm bilgi alanlarını etkileyen “boyut, hız ve kapsam” olarak kullanımını genişletmektedir. Endüstri 4.0’un tasarım ve mimaride eklemeli imalat, sanal ve artırılmış gerçeklikler, inşaat robotiği, fiziksel hesaplama, makine öğrenimi, yapay zeka ve sürdürülebilir parametrik analiz dahil olmak üzere hesaplamalı tasarım gibi alanlarda tasarım düşüncesi sınırlarının genişlemesini ve tasarım yöntemlerimiz gelişmesini sağlamaktadır (Henriques, Sousa, Gomez-Zamora, vd, 2020).

Bir zaman çizelgesinde sanayi devrimlerine geniş bir çerçeveden bakıldığında bu devrimlerin teknolojinin büyümesiyle bağlantılı olarak katlanarak daha hızlı gerçekleştiği görülmektedir. İki 18. yüzyılda, ikincisi ise neredeyse iki yüzyıl sonra meydana gelmiştir. Üçüncüsü yarım yüzyıl sonra, dördüncüsü otuz yıl sonrasında ortaya çıkmıştır. Su ve buhar gücü birinci devrimin ikinci dalgasına, yani mekanizasyon dönemine öncülük etmiştir. Sosyal değişimler şehirleri temelden dönüştürmüştür ve çelik, cam gibi malzemelerle birlikte yeni yapı tasarım tipolojilerinin ortaya çıkmasını teşvik etmiştir (Schwab, 2017). Elektrik ve mühendislik, 19. yüzyılda ikinci devrimini işaret edererek, seri üretim sistemlerinin doğuşunu tetikleyerek, inşaat sektörünün çekirdeğini etkileyerek modern hareketin doğuşuna ilham vermiştir. Bazıları mimarlar için standardizasyon, sanat ve zanaatın düşmanı olarak görünürken, diğerleri için yüksek kalite standartları ve ekonomik verimlilikle yeni inşaat tarzlarının kontrolünü sağlayan yeni tasarım gündemlerini benimsemek için bir fırsat olarak görülmüştür. Daha yakın zamanlarda elektroniklerin otomatik üretiminin yanı sıra bilgi ve iletişim teknolojileri, üçüncü sanayi devrimi teşvik etmiştir. Mimarlık bu süreçte geride kalan disiplinlerden biri olmamıştır. Dijital tasarım paradigmasının ilerleyen genişlemesi, geleneksel temsil araçlarını etkilemeye başlayan, daha yüksek derecede tasarım özgürlüğü, karmaşıklığı ve özelleştirmeyi keşfeden analiz ve üretim süreçlerini etkilemiştir.

İnsan hayatına girmiş makinelerin artık hayatın parçası olduğu bir gerçektir. Makineleşme sürecinin takip eden dönemlerde otonom sistemlerin geliştirilmesi ve artık insan gücüne ihtiyaç duymadan üretim yapabilen sistemlerin geliştirildiği dönem olmuştur.

#### **4. Endüstri 5.0 Nedir?**

Birinci sanayi devrimi, üretimi makineleştirmek için su ve buhar gücünü kullanmıştır. Bilgi birikiminin artması ve yaşanan

gelişmeler tüm disiplinleri büyük ölçüde etkilerken, dünya nüfusunda dolayısıyla da tüketim hacminde artışlar meydana gelmiştir. Tüketimin artması ile birlikte doğal olarak tüketimi karşılayacak bir üretim hacmine ihtiyaç duyulur. İkinci sanayi devriminde ihtiyaçlara daha çabuk cevap verebilmek ve üretim maliyetlerini düşürebilmek adına elektriğin keşfi ile birlikte mevcut standardı bir adım daha ileriye taşıyacak olan seri üretim yöntemi kullanılmıştır. Üçüncü sanayi devrimine baktığımızda su, buhar ve elektrik gibi kaynaklardan yararlanılarak yapılan üretim sürecine elektronik ve bilgi teknolojilerinde yaşanan gelişmeler dahil olmuştur. Bu gelişmeler çoğu sektör ve alandaki üretim süreçlerini otomatik hale getirmiştir. Ancak tabii ki bu süreçte insan müdahalesini yok saymak olanaksızdır. Çünkü Endüstri 3.0, insan odaklı yapılan üretim sürecine bilgisayarların uyum sağlama sürecidir. Ancak dördüncü sanayi devrimine geldiğimizde, robotların üretimi devralması, üç boyutlu yazıcıların kullanım alanlarının artması, yapay zeka uygulamalarının çoğalması gibi bundan yıllarca önce tahmin dahi edilemeyecek gelişmelerin yaşanması hem günümüz hem gelecek adına umut vaat ederken diğer taraftan da gündemde insanların iş hayatındaki istihdamına karşı bir tehlike unsuru olarak değerlendirilebileceğine ilişkin eleştiriler bulunmaktadır.

Endüstri 4.0 kavramının Nisan 2013’te Almanya’nın Hannover kentinde her yıl gerçekleştirilen CeBIT isimli expo ve teknoloji fuarında tanıtılması ile siber fiziksel sistemlerinin önemi tekrar vurgulanmıştır. Elbette bu yeni dönüşümün getirdiği yenilikler ve sağlamış olduğu faydaları görmezden gelmek imkansızdır. Ancak bununla birlikte ilerleyen süreçte söz konusu eleştiriler zamanla artış göstermiştir. 2017 yılında gerçekleştirilen fuarda dönemin Japonya Başbakanı Shinzo Abe, teknolojinin toplumlar için bir tehdit unsuru olarak değil, bir yardımcı unsur olarak düşünülmesi gerektiği felsefesine dayanan Endüstri 5.0’ı diğer bir ifade ile Toplum 5.0’ı tanıtmıştır.

Aslında Toplum 5.0 bu tanımdan daha önce Aralık 2015’te Japonya’nın 5. Bilim ve Teknoloji Temel Planı’nda temel bir kavram olarak tanımlanmıştır. Bu planda siber alan ile gerçek dünyanın tam anlamıyla entegre olduğu, gelecekteki toplumun sahip olacağı ideal formun “Süper Akıllı Toplum” olarak nitelendirilmesi olarak ifade edilmektedir. Bu nitelik ise ürün ve hizmetlere ihtiyaç duyanların, ihtiyaç duydukları miktar ve zamanda ulaştırılmasını kapsamaktadır. Ayrıca sistem yaş, cinsiyet, bölge gibi çeşitli faktörleri dikkate alarak bütün toplumların yüksek hizmet kalitesine erişmesi için çalışmaktadır (Celep, 2020).

Özdemir ve Hekim’e göre (2018) Endüstri 5.0, kavram ve uygulamalar açısından Endüstri 4.0 dayanmaktadır. Sahip olduğu bilgi hazinesini günden güne artıran ve ilerleten bir konsepttir. Nahavandi (2019) Endüstri 4.0’ın verimliliği arttırmak adına üretim süreçlerini otomatikleştiren bir süreç olduğunu ancak bu sürecin de insan olgusunu göz ardı ettiğini belirtmiştir. Bu durumun, sürecin de yaygınlaşmasıyla birlikte Endüstri 4.0’ın en büyük problemi olacağını, dahası problemin de büyümesiyle istihdam konusunda sendika ve politikacıların baskı göreceğini ifade etmiştir. Tam da bu noktada Endüstri 5.0’ı bir çözüm yolu olarak düşünülebileceğini belirtmiştir. Pathak’a göre (2020) ise Endüstri 5.0, insanlarla makineler arasındaki etkileşimi vurgulayan ve daha çok insan ve makine ara yüzlerine odaklanan bir dönüşümdür.

Endüstri 5.0 merkezinde insan olan, sanal alan ile fiziksel alan arasında gelişmiş ve güçlü bir bağlantı kuran yeni bir bakış

açısıdır. İnsanların bu yeni dönüşüm sürecinde şu ana kadar yaptıkları işlerde artık birer temsilci veya aracı görevi üstlenmesini ve bu konuda desteklenmesini içermektedir. Endüstri 5.0 ile birlikte önemi günden güne artan ve gelişmesinde ciddi katkıların olduğu teknolojiler aşağıda yer almaktadır (BTK, 2020).

#### ▪ Nesnelerin İnterneti:

Nesnelerin internetini (Internet of Things) akıllı bir iletişim ağı olarak tanımlamak mümkündür. Nesnelerin internetinin kısaltması literatürde “IoT” olarak kullanılmaktadır. Veri alışverişi, diğer cihaz ve sistemler arasındaki bağlantı ve fiziksel nesnelerin dahil olduğu bu ağ, toplanan sensör verilerini ağ geçidine, buluta veya başka bir uç cihazla paylaşır. Diğer cihazlar da bu ağdan aldıkları bilgi ve komutlara göre hareket ederler.

#### ▪ Büyük Veri:

Uluslararası literatürde “Big Data” olarak geçen büyük veriler, İot teknolojisinin gelişimi ve bu teknolojiye gösterilen ilginin artması ile birlikte daha çok gündemde yer almaya başlamıştır. Yalnızca belirli alanlarda değil bugün yaşamımızda bulunan her alanda büyük veriler yer almaktadır. Tüm alanların bu verileri doğru zamanda, ihtiyaçlara uygun bir şekilde kullanması tüm toplumlar için çok önemlidir. Çünkü toplumlar artık bilgi toplumları ve süper akıllı toplumlar olarak kabul edilmektedir. Bu doğrultuda da toplumların yaşam ve çalışma biçimleri büyük oranda etkilenmektedir. Bu verilerin analiz edilmesi ve elde edilen bulgular dahilinde doğru çıkarımların yapılabilmesi, yaşamı kolaylaştırıcı uygulamalar geliştirme noktasında önemli bir yer tutmaktadır.

#### ▪ Yapay Zekâ:

Yapay zekâ (Artificial Intelligence), tanımlanan görev ve sorumlulukları yerine getirebilmek adına insan zekasını taklit eden, topladıkları veriler sayesinde kendisini geliştirebilen sistem veya makineler olarak tanımlanmaktadır. Bu sistem veya makineler, görev ve sorumlulukları yerine getirmek için büyük verileri işler. Ekonomi, sağlık, eğlence, güvenlik, turizm, mühendislik, mimarlık gibi çeşitli alanlarda yapay zeka kullanımının her geçen gün artması hem tüketici tarafında müşteri memnuniyetinin artması hem de üretici tarafında zaman, mekan ve şekil faydası sağlaması için yarar sağlamaktadır.

#### ▪ Robotik:

Robotik, robotların tasarımı, inşasını, işletilmesini ve kullanımını içeren bir teknoloji olarak tanımlanmaktadır. Amacı, insanlara günlük yaşamlarında yardımcı olabilecek akıllı makineler tasarlamak ve uygulama noktasında işlerlik kazandırmaktır. Tehlikeli koşullar altında yapılan tüm işler için veya üretim açısından değerlendirildiğinde ise maliyetleri azaltmak ve üretimdeki verimi daha yüksek seviyelere çıkarabilmek için her geçen gün geliştirilmektedir.

#### ▪ Kablosuz Sensör Ağı:

Kablosuz sensör ağı, çevrenin fiziksel koşullarını izlemek ve kaydetmek ve toplanan verileri merkezi bir konumda düzenlemek için mekansal olarak dağılmış sensör grubu olarak tanımlanmaktadır. Sıcaklık, ses, kirlilik seviyeleri, nem, rüzgâr vb. gibi çevresel koşulların ölçülmesini sağlamaktadır. Bu

teknolojinin gelişmesi, insanları işleri yapan değil işleri kontrol eden birer temsilci olmalarını sağlamıştır. Bu teknolojilerin kullanılmasıyla birlikte çeşitli alanlarda inovatif girişimler ile yeni öneri ve çözümler getirilmiştir.

Her endüstri devrimi bir dönüşüm sürecidir ve bu süreçler de içerisinde hareket ettirici bir güç barındırmaktadır. Bununla birlikte sürecin getirdiği birtakım gelişmeler ve bu gelişmeler karşısında da toplum tarafında birtakım endişeler bulunmaktadır. Endüstri 1.0'dan Endüstri 5.0'a kadar olan tarihsel serüvende, dönüşüm süreçlerinin bünyesindeki itici güçler, gelişime konu olan yenilikler ve toplum tarafındaki endişeler yer almaktadır.

## 5. Endüstri 5.0 ve Mimarlık

21. yüzyılın başlangıcında ortaya çıkan teknolojik gelişmeler makinelerin sağladığı olanaklarla birlikte değişim sürecinin farklı bir alana evrilmesine neden olmuştur. Tüm alanlarda olduğu gibi mimaride bu hızlı değişim sürecinden etkilenmiş ve gelişime açık bir alan olduğu için adaptasyon hızı yükselmiştir. Endüstri 5.0 olarak da adlandırılan bu süreçte mimari uygulamaların değişime kolaylıkla uyum sağlamasında yapı sektörünün dinamik yapısı ve yeni nesil mimarların teknolojiye yakın aynı zamanda yatkın olmalarının etkisi büyüktür.

Bu çalışma da Endüstri 5.0'ın mimariye olan etkisi önceki bölümde açıklanan büyük veri, nesnelerin interneti, yapay zekâ, robotik ve kablosuz sensör ağı üzerinden değerlendirilmiştir.

“Büyük Veri” olarak adlandırılan ve değişim sürecini yönlendirmede ana etken olarak bilinen bilgi kaynaklarının tamamıdır. Mimarlık alanında veri toplama kavramının kullanılması çok eski zamanlara dayanır. En önemlilerinden biri olan “Kullanıcı ihtiyaçlarının belirlenmesi” konusu da mimari gelişimin temelini oluşturur. Mimarlık, barınma için barınaklara olan ihtiyaçların oluşturduğu ve ilk andan başlayarak günümüze kadar ulaşan ve değişen konfor ihtiyaçlarına cevap aramaktadır. Kullanıcı ihtiyaçların belirlenmesi ve bu verilerin toplanarak değerlendirilmesi Endüstri 5.0 içerisinde yer alan büyük veri kavramı altında değerlendirilebilir.

Örneğin son yıllarda oldukça etkili bir yaklaşım olan “sürdürülebilir mimarlık” büyük veri kavramı altında iklim verilerinin toplanması ve değerlendirilmesi sonrasında ortaya çıkan vahim sonucun bir ürünüdür. Yine aynı kavramı etkileyen enerji kaynaklarının tükenmesi ve yenilenebilir enerji kaynaklarının potansiyelinin belirlenmesi de büyük veri kavramı altında değerlendirilmektedir. Bu ve bunun gibi farklı örnekleri vermek mümkündür. Mimariyi gerek kavramsal gerekse teknik olarak etkileyen verilerin hızla, doğru bir şekilde toplanıp değerlendirilmesini kapsayan “Büyük Veri” kavrama ileride de sıkça başvurulacağı ve bu kavramın gelecekte çok farklı yaklaşımların ortaya çıkmasına olanak sağlayacağı düşünülmektedir.

Nesnelerin İnterneti (IoT) olarak adlandırılan uzaktan erişim ile yönetilebilen teknolojiler ve bu teknolojiler yapıların geleceğini şekillendirmektedir. Son zamanlarda geleneksel yapıları akıllı, verimli ve güvenli yapılara dönüştürmek için çeşitli uygulama ve ortamlarda IoT kullanılabilmektedir. Yapılar için çalışmalar, iç ortam otomasyonu, akıllı enerji yönetim sistemleri ve sağlık tesisleri olmak üzere üç ana kategoriye ayrılarak değerlendirilmektedir.

Önde gelen bir ileri teknoloji olan Nesnelerin İnterneti'ni (IoT) kullanan yapılarda otomasyon, güvenlik ve emniyeti artırmak, cihazların/sistemlerin uzaktan kontrolünü sağlamak, yapı sakinlerini izlemek, verimliliği artırmak, görselliği iyileştirmek ve termal konfor için son teknolojik çözümler sunabilmektedir (Akkaya, Guvenc, Aygun, vd, 2015). IoT'nin heterojen cihazlara bağlanabilme, bilgileri yönetebilme ve değiş tokuş edebilme, konumları doğru bir şekilde takip edebilme, enerji kullanımını optimize edebilme ve özellikle kablosuz iletişim teknolojileri aracılığıyla mahremiyet ve güvenliği koruma gibi avantajları bulunabilmektedir. (Shouran, Ashari & Priyambodo, 2019).

Bir yapıyı inşa etmek, çok fazla ön planlama gerektiren ve çok zaman alan bir süreçtir. Bu süreçte öncelikle tasarımı gerçekleştiren mimarın, birtakım araştırmalar yapması ve gerek duyduğu verileri elde etmek için çok uzun ofis saatlerinde çalışması gerekmektedir. Ancak bu ön planlama bazen kısıtlı zamandan dolayı yeterli olmamaktadır. Yapay Zekâ, tüm verileri analiz ederek ve mimarın çok fazla zaman ve enerji tasarrufu sağlayabilecek modeller oluşturarak bir mimarın işini önemli ölçüde kolaylaştırmasını sağlayabilmektedir. Örneğin parametrik mimari, bir mimarın çeşitli çıktı tasarımları oluşturmak için belirli parametreleri değiştirmesine ve daha önce hayal bile edilemeyen bu tür yapılar oluşturmasına izin veren bir alan olarak adlandırılmakta ve bir mimarın programlama dili olarak düşünülebilmektedir. Mimarın bir yapıyı düşünmesine ve onu diğer bazı gereksinimlere uyacak şekilde yeniden çerçevlendirmesine olanak tanımaktadır. Bunun gibi bir süreçte, Yapay Zekâ mimarın çabasını azaltmasına ve böylece mimarın farklı fikirler hakkında özgürce düşünebilmesine ve yeni bir şey yaratabilmesine olanak tanır. Bunun gibi mimarının pek çok alanında yapay zekâ kullanılabilir (As, Pal & Basu, 2018).

Son yıllardaki teknolojik ve kavramsal gelişmeler, robotik yapının prototip olarak uygulanmasını sağlamıştır. Bu bağlamda robotik yapı, hem fiziksel olarak inşa edilmiş robotik ortamları hem de robotik olarak desteklenen yapı süreçlerini ifade etmektedir. Yapıların kullanıcıları ve çevreleriyle gerçek zamanlı olarak etkileşime girmesini sağlayan mekatronik cihazları içeren yeniden yapılandırılabilir, robotik ortamlar fiziksel veya duysal değişim ve varyasyon yoluyla yoğun zaman dilimlerinde ve adreslerde birden çok değişen işleve izin vermektedir. (Bier & Knight, 2010).

Genel anlamda, mimaride gömülü robotik uygulamalar, (a) sağlık, demografik değişim ve esenliğin yanı sıra (b) sürdürülebilir iklim kontrolü ve enerji üretimi ile ilgili alanlarda tanımlanmıştır. Bu alanların her biri için robotik aşğıdaki şekilde kullanılabilir:

Robotik yapı bileşenleri (kapılar, duvarlar, zeminler vb.), hızlı nüfus artışı ve kentsel yoğunlaşmanın yanı sıra, inşa edilen alanın çağdaş verimsiz kullanımı (%25) ile başa çıkmak için çözümler sunan günlük yaşam aktivitelerini destekleyebilir. Ayrıca, yapı bileşenlerinde gömülü robotik sağlık hizmetlerine ve iyileşmeye yardımcı olabilirken, fiziksel, bilişsel, zihinsel, duysal, duygusal, gelişimsel veya bu bozuklukların bazı kombinasyonları azaltılabilir veya uzamsal duyarlılık yoluyla en aza indirilebilir (Smith, 1996).

Yapı uygulamaları kapsamında kablosuz sensör ağı teknolojisi çok yeni bir teknolojidir ve gelecekteki mimari e-ISSN: 2148-2683

gelişimin temelleri bu sistemlere bağlı olacaktır. Kablosuz sensör ağları, koşullar ve ekipman hakkındaki verileri daha kolay erişilebilir hale getirerek yapılarda enerji tasarrufu ve kullanıcıların konforunun iyileştirilmesi için muazzam fırsatlar sunar. Akıllı yapılar olarak adlandırılan sistemler kapsamında artık kendi kendini yöneten değiştiren zamanla geliştiren otomasyon sistemleriyle donatılabilecektir (Pautasso, Zimmermann & Leymann, 2008). Bununla birlikte günümüzde kablosuz sensör ağı teknolojisi yapının enerji yönetimi, kaynak tüketiminden kullanıcı sürecindeki ihtiyaçlarının karşılanmasına kadar pek çok alanda etkin şekilde uygulanmaktadır.

Kablosuz iletişim teknolojisi, sensörlerin, aktüatörlerin ve kontrolörlerin kurulmasını kolaylaştırarak yapı içindeki koşulları izlemek ve kontrol etmek için zengin fırsatlar sunmaktadır. Yapı otomasyon sistemleri şu anda ısıtma, havalandırma ve iklimlendirme (HVAC) ve aydınlatma sistemlerini verimli bir şekilde çalıştırılırken, bir yapı genelinde daha fazla sensör ve aktüatörün bulunması, enerji tüketimini azaltırken yapı sakinlerinin konforunu daha da iyileştirebilir. Ek olarak, ekstra sensörler bir yapıdaki güvenlik ve güvenlik sistemlerini güçlendirebilir (Kintner-Meyer & Brambley, 2002). Kablosuz teknoloji, kurulum maliyetini ve çabasını önemli ölçüde azaltarak bir yapıda daha fazla sayıda sensör, aktüatör ve kontrolör sağlamaktadır. Sinyal kablosunun ortadan kaldırılması, uyarlanabilir konfigürasyonlarla mekanlarda daha fazla esneklik sağlar ve yapıya zarar vermeden tarihi yapılarda algılama ve kontrole izin verebilmektedir.

## 6. Sonuç

Geçmişten günümüze tüm insanlar, içinde buldukları dönemin şartlarına göre birincil ve ikincil ihtiyaçlarını gidererek bir yaşam sürmeye çalışmıştır. İnsanların çalıştıkları her sektör veya ilgilendikleri her alan, kendi zorluklarına ve kendi içerisinde çözülmesi gereken birtakım problemlere sahiptir. Tam da bu noktada gelişim ve değişim olgusu bir çözüm olarak göze çarpmaktadır. Değişim ve gelişimin temelinde ihtiyaçların tam olarak giderilememesi veya giderildiklerinde kısmi memnuniyete sahip olunması yatmaktadır. Böylelikle her alan tarihsel süreç içerisinde kendini geliştirmiş ve ihtiyaçlara cevap vermeye çalışmıştır.

Endüstri devrimleri de yalnızca endüstri alanında başlayan bir dönüşüm süreci değildir. Çeşitli alanlarda da bir dönüşüm süreci başlatmıştır. Sosyal bilimlerden fen bilimlerine, sağlık bilimlerinden spor bilimlerine kadar her alanda bilgi birimleri zamanla çoğalmıştır. Bu süreçlerde insanların yaşam biçimleri, beğenileri, talepleri, alışkanlıkları ve çalışma standartları da farklılaşmıştır.

Bu alanlar arasında Mimarlık, yapı inşası bakımından Endüstri 5.0 yepyeni bir bakış açısı ortaya koymuş ve hem toplumsal ihtiyaçların değişimine hem de yapı tekniklerinin güncellemesinde öncü olmuştur. Endüstri 5.0 mimariyi mimarlık eğitiminden malzeme seçimine ve enerji tüketimi kontrolüne kadar sayısız alanda değişime yönlendirmiştir.

İşlev, mimari tasarımda her zaman önemli bir itici güç olmuştur, yani doğrudan amaç ve faydadan biçim üretme niyeti. 1896'da Louis Sullivan, "biçim işlevi izler" ve bir yapının güzelliğinin, önceden tasarlanmış biçimlerden veya yapı mirasa yapılan referanslardan değil, doğrudan işlevin pratik ve etkili bileşiminden kaynaklandığını savunmuştur. Endüstri devrimleri

ile birlikte hızla değişen kullanıcı ihtiyaçları ve mekân ihtiyacını doğuran fonksiyon çeşitleri değişmiştir. Bu süreçte fabrikaların kurulumu, üretimin tesislerini inşası, gibi yeni yapı tiplerinin oluşumu aynı zamanda da malzeme teknolojisinin hızlı gelişim mimari alanında önemli sıçramaların yaşanmasını sağlamıştır. Bu süreçte kullanıcı profili değişmeye başlamış yep yeni ihtiyaçların ortaya çıkmıştır. Fonksiyonun kullanımına uygun tasarım yapmak ve kullanıcıların ihtiyaçlarına cevap veren yapılar inşa etmek elbette ki mimarın temel amaçlarından biridir.

Gelişen ve değişen teknolojiye hızla ayak uyduran bir kullanıcı kitlesi tabii ki teknolojinin tüm imkanlarını yaşadığı mekânda talep edebilir. Endüstri 5.0 ile ortaya çıkan yeni sistemlerin yapı sektörü üzerindeki etkisi yadsınmaz. Büyük veri, nesnelerin interneti, yapay zekâ, robotik ve kablosuz sensör ağı sistemleri gelecekte yapıların tasarımında öncülük edeceği ve mimari üretim de temelden değiştireceği öngörülmektedir. Büyük veri sistemleri kullanılarak dünyadaki mimari veriler analiz edilerek istenilen mimari özellikte yapı oluşturmak eskisi kadar uzun sürmeyecektir. Yapay zekâ teknolojisinden yararlanılarak çizim programların geliştirileceği ve şu an aktif olarak kullanılan programların yerini alacağı düşünülmektedir. Akıllı yapılar kavramı gelişerek kullanıcının ihtiyaçlarını önceden belirleyebilen sistemler geliştirilmektedir. Buda kullanıcılar hangi fonksiyona sahip alanda olursa olsun ihtiyaç duyduğu konfor koşullarına ulaşabilecektir. Otomasyon sistemleri kullanılarak enerji tasarrufu ve yapı güvenlik sağlanmaktadır.

Bu çalışmada yeni nesil yapı anlayışının teknoloji ışığında hızla değişen konfor koşullarını sağlamak üzerine ilerlediği ve mimari alanda yapılan çalışmaların bu yönde çok önemli gelişmelere açık olduğu tespit edilmiştir. Endüstriyel devrimleri mimarlık disiplini üzerinde doğrudan etkili olmuştur ve bununla birlikte mimarlık mesleğinde yeni uzmanlaşma alanlarının ortaya çıkmasını sağlamıştır. Hiç şüphesiz gelecekte de bu süreç devam edecektir.

## Kaynakça

- Akkaya, K., Guvenc, I., Aygun, R., Pala, N. & Kadri, A. (2015). IoT-based Occupancy Monitoring Techniques for Energy-efficient Smart Buildings, in: 2015 IEEE Wirel. Commun. Netw. Conf. Workshop WCNCW, 58–63.
- Allen, R. C. (2009). The British Industrial Revolution in Global Perspective. Cambridge University Press.
- As, I., Pal, S., & Basu, P. (2018). Artificial Intelligence in Architecture: Generating Conceptual Design via Deep Learning. International Journal of Architectural Computing, 16(4), 306-327.
- Bier, H. & Knight, T. (Eds.). (2010). Digitally-driven Architecture. In 6th Footprint Issue. Delft: Stichting Footprint.
- Canbay, P. & Demircioğlu, Z. (2021). Endüstri 5.0'a Doğru: Zeki Otonom Sistemlerde Etik ve Ahlaki Sorumluluklar. AJIT-e: Bilişim Teknolojileri Online Dergisi, 12(45), 106-123.
- Celep, D. N. (2020). Toplum 5.0: İnsan Merkezli Toplum. Türk Eğitim Derneği
- Günay, D. (2002). Sanayi ve Sanayi Tarihi. Mimar ve Mühendis Dergisi, 31, 8-14.
- Jevons, H. S. (1931). The Second Industrial Revolution. The Economic Journal, 41(161), 1-18.

- Kintner-Meyer, M. & Brambley, M. R., (2002). Pros & Cons of Wireless, ASHRAE Journal, 44(11), 54-61.
- Li, W., Logenthiran, T., Phan, V. & Woo, W. L. Implemented IoT-based Self-learning Home Management System (SHMS) for Singapore, IEEE Internet Things J 5 (2018) 2212–2219.
- Nahavandi, S. (2019). Industry 5.0-A Human-centric Solution. Sustainability, 11(16), 4371.
- Özdemir, V. & Hekim, N. (2018). Birth of Industry 5.0: Making Sense of Big Data with Artificial Intelligence, "The Internet of Things" and Next-generation Technology Policy. Omics: A Journal of Integrative Biology, 22(1), 65-76.
- Özer B. (2018). Kültür, Sanat, Mimarlık, YEM Yayınları, İstanbul.
- Pathak, P., Pal, P. R., Shrivastava, M., & Ora, P. (2019). Fifth Revolution: Applied AI & Human Intelligence with Cyber Physical Systems. International Journal of Engineering and Advanced Technology, 8(3), 23-27.
- Pautasso, C., Zimmermann, O. & Leymann, F. (2008), Restful Web Services vs. "Big" Web Services: Making the Right Architectural Decision. In Proc. of the 17th international Conference on World Wide Web (WWW).
- Power is Transforming Energy, The Economy, And The World. Macmillan.
- Rifkin, J. (2011). The Third Industrial Revolution: How Lateral
- Schwab, K. (2017). The Fourth Industrial Revolution. Currency.
- Smith, B. L. (2001). The Third Industrial Revolution: Policymaking for the Internet. The Columbia Science and Technology Law Review, 3, 1-45.
- Shouran, Z., Ashari, A. & Priyambodo, T. Internet of Things (IoT) of Smart Home: Privacy and Security, Int. J. Comput. Appl. 182 (2019) 3–8.
- Smith, R. O. (1996). Measuring the Outcomes of Assistive Technology: Challenge and Innovation. Assistive Technology, 8, 71–81.
- Zhou, K., Liu, T. & Zhou, L. (2015). Industry 4.0: Towards Future Industrial Opportunities and Challenges. 12th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (FSKD), 2147-2152.
- Zimmerman, C. (2017). Albert Kahn in the Second Industrial Revolution. AA Files, (75), 28-44.



# Mikroakışkan Platformda Proteine Bağlı Üremik Toksin Adsorpsiyonunun Modellenmesi

Esra İlhan-Ayışığı<sup>1,2</sup>, Şeyma Tırak<sup>3</sup>, Aylin Özünü<sup>4</sup>, Ece Yıldız-Öztürk<sup>5</sup>, Özlem Yeşil-Çeliktas<sup>5,6\*</sup>

<sup>1</sup> Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Biyomühendislik Bölümü, İzmir, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-1880-4261), [esrailhan01@gmail.com](mailto:esrailhan01@gmail.com)

<sup>2</sup> Ahi Evran Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Genetik ve Biyomühendislik Bölümü, Kırşehir, Türkiye

<sup>3</sup> Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Biyomühendislik Bölümü, İzmir, Türkiye (ORCID: 0000-0002-1638-514X), [tirakseyma@gmail.com](mailto:tirakseyma@gmail.com)

<sup>4</sup> Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Biyomühendislik Bölümü, İzmir, Türkiye (ORCID: 0000-0002-7094-3261), [aylinozunlu@gmail.com](mailto:aylinozunlu@gmail.com)

<sup>5</sup> Ege Üniversitesi, Solunum Araştırmaları Merkezi (ORCID: 0000-0003-2482-7371), [eceyildiz.bioeng@gmail.com](mailto:eceyildiz.bioeng@gmail.com)

<sup>6\*</sup> Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Biyomühendislik Bölümü, İzmir, Türkiye (ORCID: 0000-0003-4509-2212), [ozlem.yesil.celiktas@ege.edu.tr](mailto:ozlem.yesil.celiktas@ege.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 14 Temmuz 2021 ve Kabul Tarihi 9 Eylül 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.971386)

**ATIF/REFERENCE:** İlhan-Ayışığı, E., Tırak, Ş., Özünü, A., Yıldız-Öztürk, E. & Yeşil-Çeliktas, Ö. (2021). Mikroakışkan Platformda Proteine Bağlı Üremik Toksin Adsorpsiyonunun Modellenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (27), 354-361.

## Öz

Bu çalışmada kronik böbrek hastalarının üremik toksisite sorununa çözüm bulmak amacıyla hemodiyaliz sistemine entegre edilebilecek bir mikroakışkan çip geliştirilmesi hedeflenmiştir. Mikroakışkan çip içerisine Sol-Jel metodu ile Na-Y Zeolit ile fonksiyonelleştirilmiş TEOS-PEO hidrojel yüklenerek, kanda bulunan ve proteine bağlı üremik toksinlerden biri olan İndoksil Sülfat (IS) toksininin, çip içerisinde adsorbe edilerek hastaların kanlarından uzaklaştırılması hipotezi test edilmiştir. Solid Works programı ile S-şekilli bir mikrokanal tasarlanarak, Comsol Multiphysics programında simülasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Simülasyon sonrasında taramalı elektron mikroskopisi (SEM) ve bilgisayarlı mikro-tomografi (mikro-CT) analizi ile karakterizasyonları gerçekleştirilen Na-Y Zeolit içerikli hidrojellerin hem kesikli deney koşullarında hem de geliştirilen mikroakışkan sistemde sürekli modda simüle kan sıvısı ile yapılan protein bağlı indoksil sülfat toksininin detoksifikasyonu incelenmiştir. Geliştirilen bu mikroakışkan tasarımın, klinikte kronik böbrek hastalarının kanında biriken proteine bağlı toksinlerin uzaklaştırılmasını sağlayabilecek yenilikçi yöntemler geliştirilmesine katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** İndoksil sülfat, Mikroakışkan platform, Adsorpsiyon, Simülasyon, Proteine bağlı üremik toksinler.

## Modeling of Protein-Bound Uremic Toxin Adsorption in a Microfluidic Platform

### Abstract

This study aims to develop a microfluidic platform that can be integrated into the hemodialysis system to find a solution to the uremic toxicity problem of chronic kidney patients. The hypothesis was tested which was the adsorption of one of the protein-bound uremic toxins in the blood, Indoxyl Sulfate (IS), can be achieved through the TEOS-PEO hydrogel, synthesized by sol-gel method and functionalized with Na-Y Zeolite, within the microfluidic chip. An S-shaped microchannel was designed with the Solidworks program, and simulation studies were carried out in the Comsol program. After the simulation studies, the detoxification of protein-bound indoxyl sulfate toxin from simulated blood fluid of Na-Y Zeolite-containing hydrogels, which were characterized by scanning electron microscopy and computerized micro-tomography analysis, was investigated both in batch conditions and in continuous mode in the developed microfluidic system. It is thought that this microfluidic design will contribute to the development of innovative methods that can remove protein-bound toxins that accumulate in the blood of chronic kidney patients in the clinic.

**Keywords:** Indoxyl sulfate, Microfluidic platform, Adsorption, Simulation, Protein-bound uremic toxins.

\* Sorumlu Yazar: [ozlem.yesil.celiktas@ege.edu.tr](mailto:ozlem.yesil.celiktas@ege.edu.tr)

## 1. Giriş

Küresel popülasyonun yüzde 10'unu etkileyen ve her yıl bir milyondan fazla ölümden sorumlu olan kronik böbrek hastalığı (KBH) ülkemizde ve dünyada önemli bir halk sağlığı sorunu haline gelmiştir. KBH, böbreklerin hasarlı olduğu veya sağlıklı böbreklerin kanı filtre edemediği glomerül filtrasyon hızının 60 mL/dak/1.73 m<sup>2</sup>'den düşük olduğu durumdur (Eyüpoğlu, 2020; Krieter ve diğerleri, 2010). Vücuttan atılması gereken çok sayıda toksik bileşikten bazıları biyolojik fonksiyonlarla negatif etkileşime girer ve bu maddeler üremik toksinler olarak adlandırılırlar (Vanholder ve diğerleri, 2014).

Üremik toksinler, boyutlarına veya özelliklerine göre genellikle üç ana gruba ayrılmaktadırlar. İlk grup 500 Da'dan daha düşük moleküler ağırlıklı (Mw), suda çözünür küçük moleküllerden oluşmaktadır. Bu gruptaki kreatinin ve üre gibi moleküller, geleneksel olarak "düşük-akılı" diyaliz membranları kullanılarak hemodiyaliz gibi difüzyon temelli membran tedavisi ile kandan iyi bir şekilde uzaklaştırılırlar. İkinci toksin grubu, moleküler ağırlığı daha yüksek olan orta moleküler ağırlıklı toksinlerden oluşurken, üremik toksinlerin üçüncü grubu ise insan kanındaki serum albüminine (HSA) bağlı çözünen maddelerden oluşan proteine bağlı toksinler, PBUT'dır. Hem yüksek-akılı hem de düşük-akılı diyaliz membranları albümini kan içerisinde tutmak için tasarlandığından, proteine bağlı toksinlerin sadece serbest kısmı (albümine bağlı olmayan) hemodiyaliz ve hemofiltrasyon ile giderilebilmektedirler (Vanholder ve diğerleri, 2012). PBUT'ların albümin'e yüksek bağlanma özellikleri nedeniyle difüzyonla uzaklaştırılması sağlanamamaktadır (Davenport, 2014).

Mikroakışkan teknolojisindeki gelişmeler, giyilebilir diyalizerler olan giyilebilir yapay böbrek (Wearable Artificial Kidney: WAK), Vicenza giyilebilir yapay böbrek (ViWAK), otomatize giyilebilir yapay böbrek (Automated Wearable Artificial Kidney: AWAK) ve insan nefron filtresi (Human Nephron Filter: HNF) gibi çok çeşitli minyatür tıbbi cihazların keşfine olanak sağlamış (Armignacco ve diğerleri, 2015) ve ayrıca geleneksel hastane merkezli kan arıtımı ile ilgili bazı sorunların ele alınmasını teşvik etmiştir (Gura ve diğerleri, 2016). Mikroakışkan hemodiyaliz teknikleri, portatiflik ve giyilebilirlik avantajlarının yanı sıra klinik hastane merkezli kan saflaştırmayı ev içi hemodiyaliz ile değiştirebilme potansiyellerinden dolayı kronik böbrek hastalığı tedavisinde büyük ilgi görmektedirler. Bu sistemlerin hem serbest üremik toksinleri hem de proteine bağlı üremik toksinleri detoksifiye edebilmeleri için yeni çalışmalar yapılmaktadır.

Kanın diyaliz işlemi sırasında albüminin uzaklaştırılması, albümin sentez hızı ve katabolizması, intra ve ekstra vasküler kompartmanlar arasındaki albümin dağılımı ve patolojik koşullar altındaki eksternal kayıp gibi birçok faktörden etkilendiğinden, serum albümin konsantrasyonunda hafif bir azalmaya yol açmaktadır (Zweigart, Boschetti-de-Fierro, Neubauer, Storr, Böhrer ve Krause, 2017). Hasta toleransı açısından bir diyalizörden uzaklaştırılabilecek albümin sınırları hakkında, farklı tedavi modaliteleri için uzaklaştırılan albümin miktarlarına dair farklı açıklamalar mevcuttur. Örneğin, 24 aylık bir süre boyunca 17 stabil periton diyalizi hastasında serum albümin konsantrasyonunda günde 5-7 g civarında küçük ve anlamlı olmayan bir düşüş gözlemlenmiştir (Caravaca, Arrobas ve Dominguez, 2000). Konvansiyonel yüksek-akılı membranlarla yapılan hemodiyaliz işlemlerinde ise albümin kaybının,

genellikle membran malzemesi ve yüzey alanına bağlı olarak 4 saatlik işlem başına 0-2 g aralığında olduğu rapor edilmiştir (Zweigart ve diğerleri, 2017; Floege ve diğerleri, 1989). Online hemodiafiltrasyon modalitesinde, albümin giderimi işlem başına 1-3 g arasında değişirken (Zweigart ve diğerleri, 2017; Floege ve diğerleri, 1989), bu işlem sırasında değişen ultrafiltrasyon oranlarına veya geleneksel yüksek-akılı membranların kullanıldığı hemodiafiltrasyon sistemlerindeki "itme/çekme" modalitesine bağlı olarak albümin gideriminin işlem başına 2.2-7 g arasında değişebildiği bilinmektedir (Shinzato ve diğerleri, 1996; İkizler ve diğerleri, 1994; Zweigart ve diğerleri, 2017). Diyalizörlerin tekrarlı kullanımıyla da protein uzaklaştırma seviyeleri tedavi başına 10-12 g'a çıkarak serum albümin konsantrasyonunda önemli bir azalmayı işaret etmektedir (Kaplan ve diğerleri, 1995).

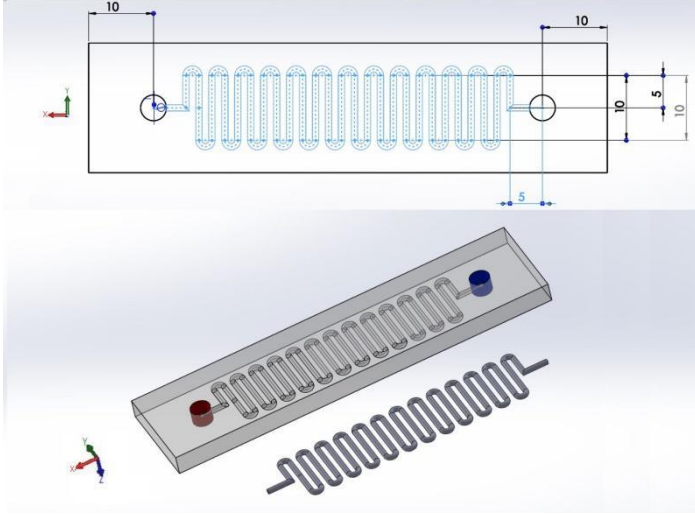
Hemodiafiltrasyon modlarında kullanılan farklı diyalizerler olan FDY 210 ve Evodial için 4 saatlik seans başına sırasıyla 2.2-15.5 g ve 0.48 g aralığında albümin kayıpları (Zweigart ve diğerleri, 2017) söz konusu iken, yaygın olarak kullanılan diyaliz sistemlerini inceleyen daha güncel bir çalışmada ise 3.0±2.4 - 4.3±3.5 g aralığında albüminin diyaliz sırasında kandan uzaklaştırılabildiğini ifade edilmiştir (Maduel ve diğerleri, 2014).

Bu çalışmada, kronik böbrek hastalarının kullanabileceği ve proteine bağlı üremik toksinlerin kandan detoksifikasyonunu sağlayabilecek zeolit içeren bir hidrojel ile yüklü bir mikroakışkan platformun geliştirilmesi hedeflenmiştir. Zeolitler kristalin yapıları aluminosilikat minerallerdir ve zeolit ile fonksiyonelleştirilen polimerik membran matrislerinin ayırma performanslarında artış sağlanabildiği bilinmektedir (Tırnakçı, Salt, Salt, ve Keyf, 2020). Geliştirilen mikroakışkan çipin bugün klinikte kullanılan diyaliz sistemlerinde entegre edilebileceği takdirde, kan dolaşımından uzaklaştırılmaları ve proteine-bağlı olmaları nedeniyle kısıtlı olan protein-bağlı üremik toksinlerin biosorpsiyonunun kandaki albümin protein miktarı korunarak sağlanabileceği düşünülmektedir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. 3D CAD Modeli Çalışmaları

İndoksil sülfat (IS) maddesinin mikroçip içerisinde adsorpsiyonunun simüle edilebilmesi için yapılan modelleme çalışmalarında S-şekilli mikro-akışkan sistem tasarlanmıştır. Bu sistemin avantajı, tasarımı sayesinde, mikroakışkanın kanallardaki kalış süresini arttırmasıdır. Suda çözünmeyen gözenekli bir yapı olan ve kan üremik toksinlerini adsorbe edebilen Na-Y Zeolit adsorbantı ile yüklenmiş S şekilli mikroakışkan sistemin tasarımı Solid Works programı (Dassault Systèmes, SOLIDWORKS Corp., Fransa) kullanılarak yapılmıştır. Toplam kanal hacmi ve kesit alanı sırasıyla 100 µL ve 0.25×10<sup>-6</sup> m<sup>2</sup> olarak hesaplanmıştır. Mikrokanallarda genişlik ve derinlik 500µm iken, üremik toksin ve adsorban madde arasındaki fiziksel etkileşimi arttırmak için çip içerisinde alıkonma süresinin daha uzun olması amaçlanmış, bu sebeple kanalın uzunluğu 40 cm olarak belirlenmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. Platform iç tasarımı ve ölçüleri

## 2.2. Simülasyon Çalışmaları

Modelin simülasyonu için Comsol programı kullanılmıştır. Comsol programındaki “Transport of diluted species in porous media” modeli üzerinden çipe giren simüle kandaki IS maddesi miktarının zamana bağlı olarak değişimi modellenmiştir. Simülasyon parametreleri kan akış hızı, kanın viskozitesi, kanın zeolit içerisindeki difüzyon katsayısı, IS konsantrasyonu ve zeolit adsorbanının porozitesidir. Platforma giren simüle kan sıvısının akış hızı 2-10  $\mu\text{L}/\text{dk}$  arasında; 4, 7 ve 10  $\mu\text{L}/\text{dk}$  olarak uygulanmıştır. Bu değerler sisteme 6.66e-8 m/s, 1.16e-7 m/s ve 1.66e-7 m/s olarak girilmiştir. Ayrıca IS konsantrasyonu 3, 1.55 ve 0.1 mg/dL olarak uygulanmıştır. Akışkanların platformdan çıkış yaptığı bölgelerde basınç değeri program aracılığıyla 101325 Pa olarak girilmiştir. Simüle edilecek kan sıvısının (IS ve 50 mg/mL albümin içeren pH 7.4 0.01M fosfat tamponlu salin: PBS) viskozitesi 0.003 Pa·s ve yoğunluğu ise 1025  $\text{kg}/\text{m}^3$ ; IS’in molekül ağırlığı 0.21321  $\text{kg}/\text{mol}$  ve difüzyon katsayısı  $1.6 \cdot 10^{-9}$ ; mikroakışkan kanala yüklenen hidrojeldeki Na-Y Zeolit (CBV-100) materyalinin porozitesi 0.48 ve yoğunluğu ise 1.01  $\text{g}/\text{cm}^3$  olarak kabul edilmiştir. Adsorpsiyon izotermi (1) için de dağılım katsayısı ( $K_D$ ) 0.16  $\text{m}^3/\text{kg}$  ve dispersiyon katsayısı (E) 4.11e-6  $\text{m}^2/\text{s}$  olarak kabul edilmiştir. Genel anlamda ise “c” konsantrasyonu, “L” kanal uzunluğunu ve “t” zamanı simgelemektedir.

$$\left(1 + \frac{K_D \rho}{\eta}\right) \frac{dc}{dt} = -u_L \frac{dc}{dL} + E \frac{d^2c}{dL^2} + r \quad u_L \text{ in } \frac{m}{\text{time}} \quad (1)$$

$K_D$ : Dağılım katsayısı

E: Dispersiyon katsayısı

$u_L$ : Hacimsel akış hızı

$\rho$ : Adsorban yoğunluğu

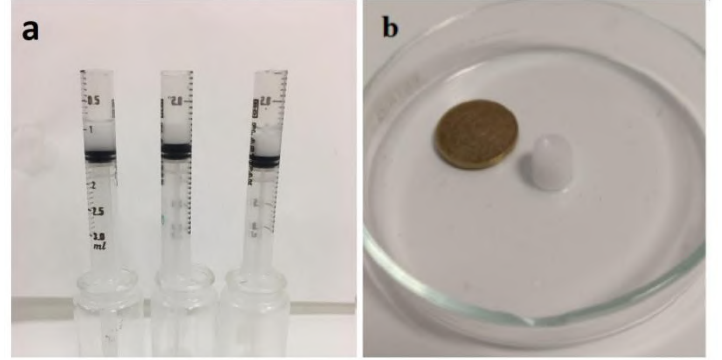
$\eta$ : Adsorban viskozitesi

## 2.3. Na-Y zeolit içerikli hidrojinin hazırlanması

Sol-Jel metodu ile sentezlenen TEOS (tetraethoxysilane) - PEO (polyethylene oxide) hidrojelleri, 0-50-100 mg zeolit içerecek şekilde her bir parti için 0.125 mL TEOS hidrolizati ve 0.250 mL PEO solüsyonu Şekil 2’de görülen Luer Lock şırıngalar içerisinde birkaç dakika vorteksenerek karıştırılmış ve ardından dik konumda 45 dk jelleşmeye bırakılarak hazırlanmıştır. Mikrokanala yüklenecek hidrojel de aynı şekilde

hazırlanmış ve 45 dk boyunca şırıngada jelleşmeye bırakıldıktan sonra homojen form gözlemlendiğinde mikrokanala enjektör yardımıyla transfer edilerek mikroakışkan çip içerisine yüklenmiştir.

TEOS hidrolizasyonu için, silan prekürsörü olan TEOS (tetraetoksisilan), Ultrasaf su ve HCl (%0.1, v/v) hacimce 5.58/1.9/1 oranında 2.5 saat süresince oda sıcaklığında karıştırılmıştır (Yesil-Celiktas, Cumana ve Smirnova, 2013). PEO (polietilen oksit) solüsyonu ise Na-Ca asetat tamponu (pH 4.8) içerisinde 80 mg/mL konsantrasyonda PEO çözülmesi ile elde edilmiştir. Jelleşme sonrası Şekil 2’de görüldüğü gibi şırınga ağızları kesilmiş ve üzeri saf TEOS ile kaplanarak +4°C’de 24 saat yaşlandırmaya bırakılmıştır. Ardından şırınga pistonu itilerek kesikli adsorpsiyon denemelerinde kullanılacak monolitler elde edilmiştir. Mikrokanaldaki jelin yaşlandırılması ise mikrokanal giriş ve çıkış kısımlarının saf TEOS ile kaplanması ve aynı şekilde +4°C’de 24 saat muhafaza edilmesi sonrasında gerçekleştirilmiştir. Sentezlenen hidrojel, taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve bilgisayar destekli mikro tomografi (mikro-CT) ile karakterize edilmiştir.



Şekil 2. Luer Lock şırıngalar içerisinde Zeolit-Jel monolitlerinin hazırlanması (a) ve Zeolit içeren jel monolitinin yaşlandırma sonrası görüntüsü (b)

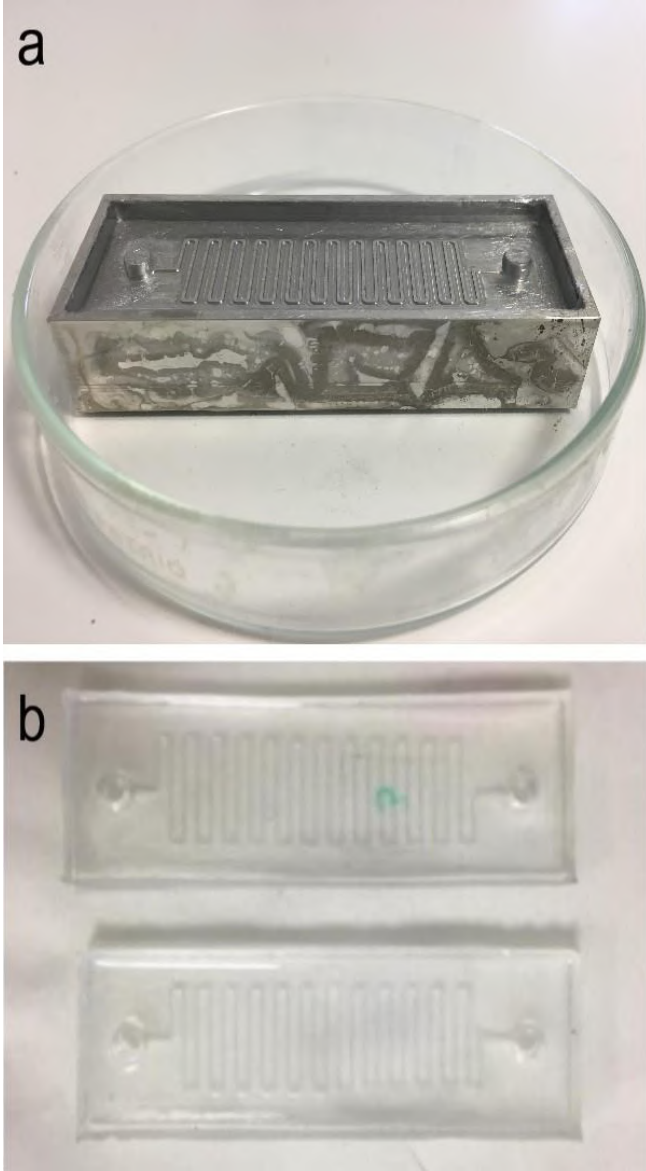
## 2.4. Mikroakışkan Platformun Hazırlanması

Mikroakışkan çipin kalıp bazlı yöntem ile fabrikasyonunun gerçekleştirilebilmesi için polidimetilsiloksan (PDMS) polimeri kullanılmıştır. S-şekilli kanalları oluşturmak için kullanılacak kalıbın üzerine PDMS polimeri ve aktifleştiricisi üretici firmanın önerdiği şekilde karıştırılarak paslanmaz çelik kalıplara dökülmüştür (Şekil 3a). Daha sonra polimer karışımında oluşan kabarcıkların yok edilmesi için karışım vakum altında 15 dk bekletilmiş ve kabarcıkları uzaklaştırılmış PDMS jeller 80°C’de 2 saat bekletilerek sertleştirilmiştir. Kalıptan çıkarılan sertleşmiş PDMS polimer mikrokanalların Plasma Cleaner cihazı yardımıyla yüzeyleri aktifleştirildikten sonra lamalar ile birleştirilmiş (Şekil 3b) ve akışa bağlanmaya hazır hale gelmiştir.

## 2.5. Kesikli Adsorpsiyon Denemeleri

Çip denemelerine geçilmeden önce uygun parametrelerin belirlenmesi için öncesinde kesikli koşullarda adsorpsiyon denemeleri yapılmıştır. PBS içerisine kronik böbrek hastalarının kanında bulunan konsantrasyonda (50 mg/mL) sığır serum albümini ve 0.03 mg/mL konsantrasyonda IS eklenerek gece boyu karıştırıcı (200 rpm) üzerinde 37°C’de inkübe edilmiş ve böylelikle toksinlerin albümine bağlanmaları sağlanmıştır. Bu

şekilde hazırlanan simüle kan sıvısının 2.4 mL'si bir behere alınarak içerisine şırıngadan alınan monolit eklenmiş ve 4 saat boyunca manyetik karıştırıcıda (200 rpm) karıştırılmıştır. Belirli zaman aralıklarında alınan örneklerde, albümine bağlı IS toksini ile serbest halde bulunan IS'ın ayrılması için 100 000 rpm hıza çıkabilen ultrasantrifüj kullanılmıştır. 100 000 rpm de 2 saat süresince ultrasantrifüjün ardından üstte kalan fazda serbest IS, altta kalan pellet kısmında proteine bağlı olan IS molekülleri bulunmaktadır. Üst fazdaki süpernatantın 30 µL'sinde bulunan serbest IS konsantrasyonu nanodrop ile ölçülmüştür.

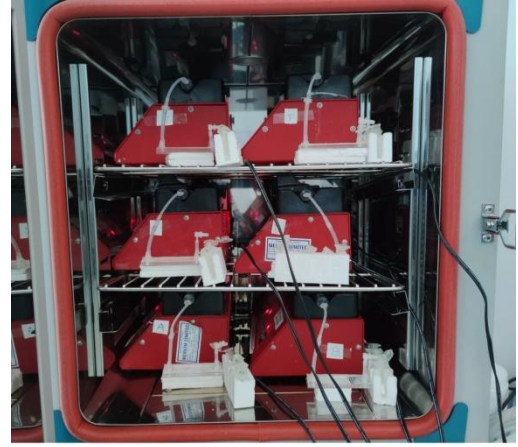


Şekil 3. Kalıba dökülmüş PDMS polimeri (a) ve PDMS polimerinden hazırlanmış, lamalar ile kapatılmış mikroçipler (b)

## 2.6. Mikroakışkan Platformda Adsorpsiyon Denemeleri

Mikrokanala yüklenen farklı miktarda zeolit içeren hidrojelere yaşlandırılmalarını takiben, mikroçip giriş ve çıkış kısımlarına sıcak silikon yardımı ile bağlantı boruları takılmış ve bu boruların diğer uçları ise şırınga pompalarındaki simüle kan içeren şırıngalara bağlanmıştır. Mikrokanaldaki akış hızı 10 µL/dk ve akış süresi 4 saat olacak şekilde ayarlanarak akış e-ISSN: 2148-2683

başlatılmıştır. İnsan vücudu simüle edilmek istendiğinden mikroakışkan çipler ile sürekli modda gerçekleştirilen adsorpsiyon denemeleri 37°C sıcaklıktaki etüv içerisinde gerçekleştirilmiştir (Şekil 4). Mikroçiplerin çıkış kanallarından toplanan simüle kan sıvısı ependorflarda toplanmıştır.

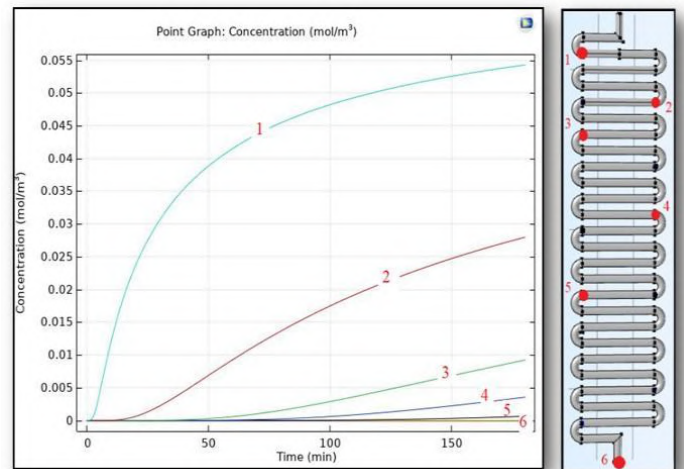


Şekil 4. İnkübatör içerisine yerleştirilmiş şırınga pompalarına bağlanmış mikroakışkan çiplerde gerçekleştirilen adsorpsiyon denemeleri

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

### 3.1. Simülasyon Çıktıları

Yapılan simülasyon çalışmasında çipin farklı noktalarındaki konsantrasyon değişiminin zamana bağlı grafiği Comsol Multiphysics programı aracılığıyla çizilmiştir. Çipin altı farklı noktasında IS konsantrasyonunun incelendiği grafikte (Şekil 5), IS içeren simüle kan sıvısı mikrokanala girdikten hemen sonra kanal içerisindeki zeolit ile fonksiyonelleştirilmiş TEOS-PEO hidrojeline IS toksininin adsorpsiyonlanması sebebiyle 1 numaralı noktada IS konsantrasyonunda çok hızlı artış gözlemlenmektedir. Kanalda ilerleyen simüle kan sıvısındaki IS'ın adsorpsiyonlanarak konsantrasyonunun düşmesi nedeniyle, çipin orta noktaları olan 2, 3, 4 ve 5 numaralı noktadaki adsorplanmış IS konsantrasyonları da giriş noktasına olan uzaklıkları ile orantılı olarak düşmektedir.

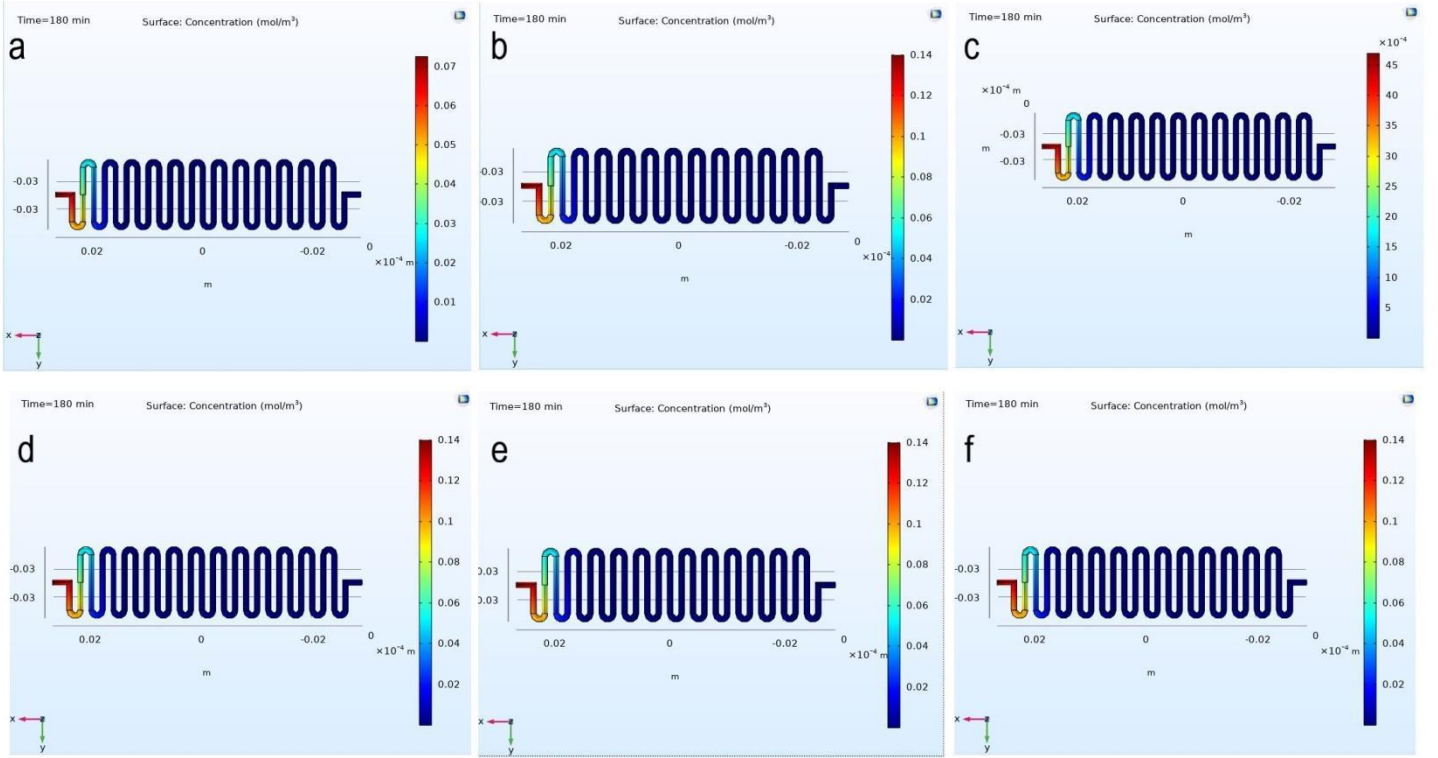


Şekil 5. Simülasyon sonucunda programdan elde edilen mikroçipin farklı noktalarına ait zamana bağlı IS konsantrasyonu değişimi (sol) ve çip üzerinde seçilen noktalar (sağ)



Comsol programında yapılan simülasyon çalışmalarında farklı akış hızları ve farklı IS konsantrasyonları denenmiştir. Farklı konsantrasyonlarda (3.0, 1.55 ve 0.1 mg/dL) IS içeren hidrojeller için 10  $\mu$ L/dk sabit akış ile gerçekleşen simülasyonlar sonucunda belirlenen akış hızları aralığında IS adsorpsiyon miktarında bir değişim gerçekleşmediği görülmüştür (Şekil 6 a, b, c). Ayrıca simüle kan sıvısının 40 cm toplam uzunluktaki mikrokanala girmesinden çok kısa bir süre

sonra henüz kanalın girişine yakın bölgede IS konsantrasyonunun sifıra yaklaştığı görülmüştür (Şekil 6). IS konsantrasyonu sabit tutularak (3 mg/dL) farklı akış hızlarında (4, 7 ve 10  $\mu$ L/dk) gerçekleştirilen denemelerde de benzer şekilde henüz kanalın girişine çok yakın bir bölgede IS konsantrasyonunun sifıra yaklaştığı görülmüştür (Şekil 6 d, e, f).

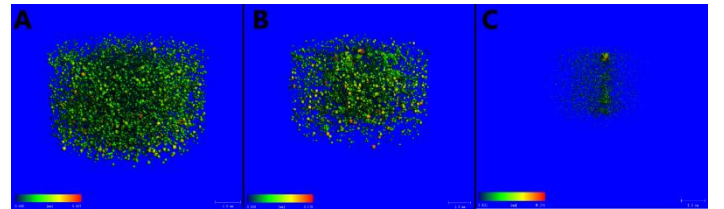


Şekil 6. Comsol programında 10 $\mu$ L/dk sabit hızda ve 3 mg/dL (a), 1.55 mg/dL (b) ve 0.1 mg/dL (c) konsantrasyonlarda elde edilen simülasyonlar ile 3 mg/dL sabit IS konsantrasyonunda simüle kan sıvısının kullanıldığı 10 $\mu$ L/dk (d) 7  $\mu$ L/dk (e) ve 4 $\mu$ L/dk (f) akış hızında elde edilen simülasyonlar.

### 3.2. Na-Y Zeolit İçerikli TEOS-PEO Hidrojelin Karakterizasyon Çalışmaları

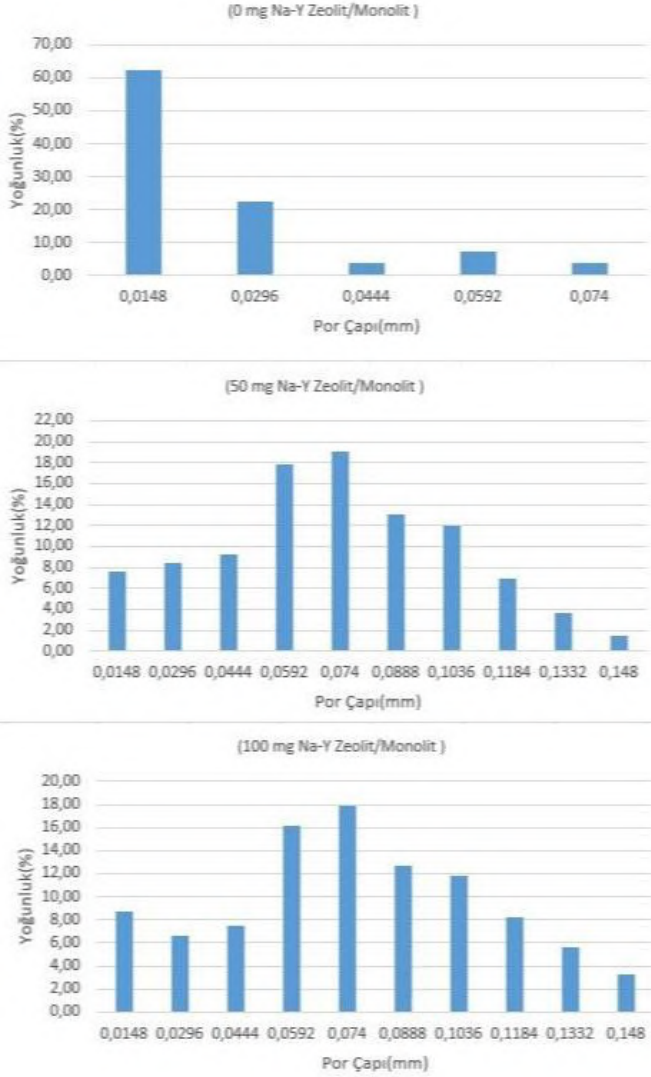
Sentezlenen zeolit içeren/içermeyen TEOS-PEO hidrojjellerinin yüzey morfolojisini görmek ve por çaplarının boyutlarını belirleyebilmek için SEM ve micro-CT görüntüleri incelenmiştir. Jel içerisinde 500°C'de gece boyu kalsinize edilmiş zeolit bulunmaktadır ve Şekil 7'de görüldüğü gibi adsorpsiyon için avantaj sağlayabilecek por yapılarına sahip olduğu görülmektedir. 100 mg Na-Y Zeolit içeren jellerde (Şekil 7A), 50 mg Na-Y Zeolit içeren jellere (Şekil 7B) göre porları temsil eden kırmızı-yeşil aralığındaki renklerde artış meydana gelmesi, artan zeolit miktarının poroziteye olumlu yönde katkı sağladığını ortaya çıkarmıştır. TEOS-PEO hidrojjellerinin içerisine eklenen Na-Y Zeolit konsantrasyonu artışının hidro-

jeldeki por yapısını olumlu etkilediği ve daha porlu bir yapıya olanak sağladığı görülmektedir ve gelişmiş por yapısı da PBUT (IS toksini) adsorpsiyonu açısından avantaj sağlamaktadır.



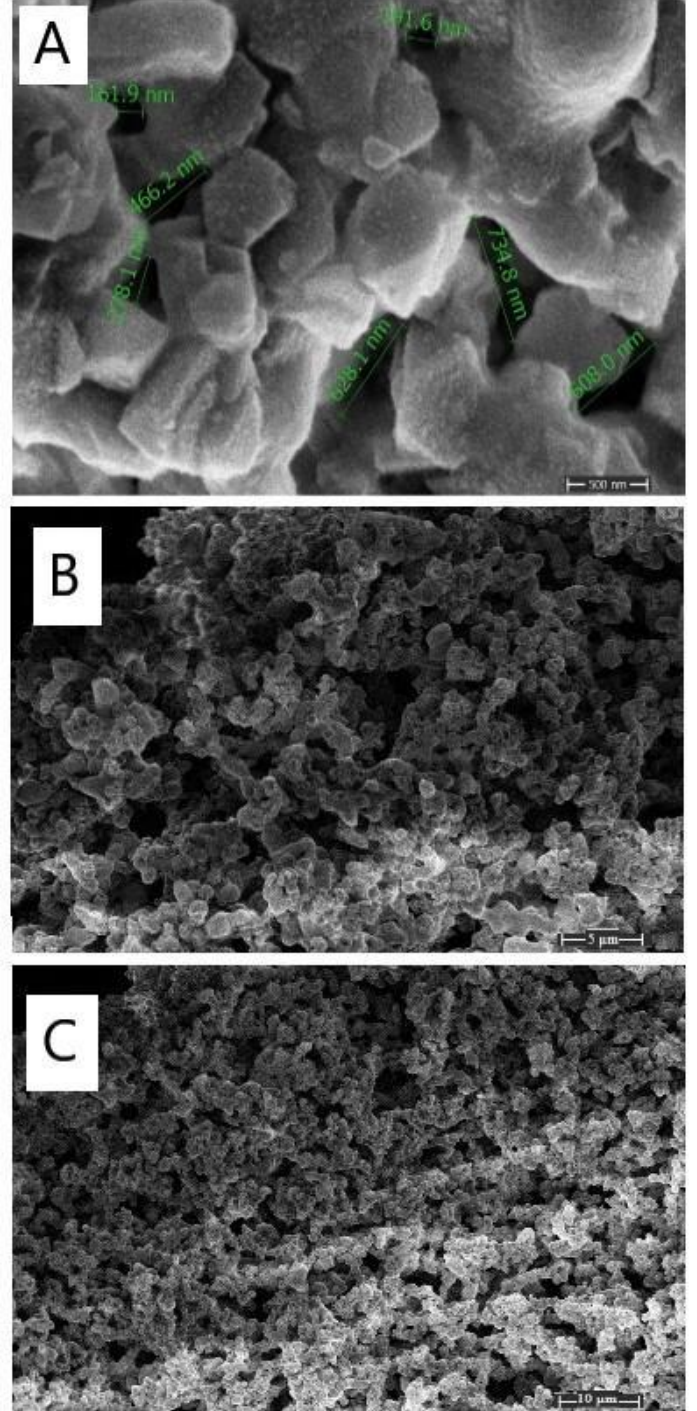
Şekil 7. Micro-CT por dağılımı görüntüleri 100 mg Na-Y Zeolit içeren hidrojel (A), 50 mg Na-Y Zeolit içeren hidrojel (B) ve Na-Y Zeolit içermeyen hidrojel (C)

Mikro-CT analizi ile elde edilen kantitatif por dağılımı sonuçları Şekil 8’de görülmektedir. Zeolit katkısı olmaksızın sentezlenen TEOS-PEO hidrojelindeki porların yaklaşık olarak %60’ı 0.0148 mm çapındayken, monolit başına 50 mg zeolit ile fonksiyonelleştirilmiş hidrojellerde por çaplarının genişleyerek %19’nun 0.074 mm, %18’nin 0.0592 mm ve %13’nün de 0.0888 mm ortalama çapa sahip oldukları görülmektedir (Şekil 8). Ayrıca Şekil 7 ile benzer olarak, monolit başına 100 mg’a artan Zeolit konsantrasyonunda 50 mg Zeolit içerenlere göre en yüksek por dağılım çubukları olan 0.1184 mm, 0.1332 mm ve 0.148 mm bölgelerinde % por yoğunlukları daha yüksektir.



Şekil 8. Zeolit içermeyen ve farklı konsantrasyonlarda zeolit içeren hidrojellerde ortalama por çapı (mm) dağılım grafikleri

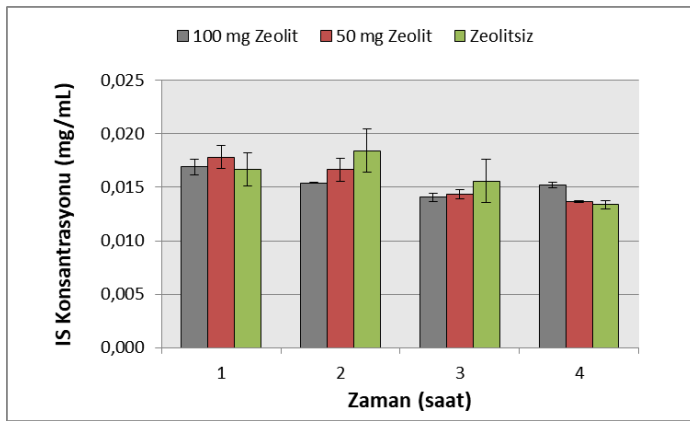
Örneklerin yüzey morfolojilerinin incelenmesi için Quanta 200 FEI SEM-EDX elektron mikroskobu kullanılmıştır. Açıkça görülebilen kristallerden ayrı olarak neredeyse homojen bir matris, mikrokristalin fazlar ve amorf kütlelerin bir karışımı olduğu gözlenmektedir (Şekil 9).



Şekil 9. Na-Y Zeolit-Jel Monolitleri SEM görüntüleri ölçek 500 nm (a), 5 µm (b) ve 10 µm (c)

### 3.3. Monolitlerle Yapılan Kesikli Adsorpsiyon Denemeleri

Albümine bağlı üremik toksinlerin kesikli koşullarda adsorpsiyonlarının belirlenebilmesi için manyetik karıştırıcı üzerinde karıştırılabilir olarak monolit hidrojellerle adsorpsiyon denemeleri gerçekleştirilmiş ve simüle kan sıvısındaki IS konsantrasyonunun zamana bağlı değişimi spektroskopik bir yöntem olan nanodrop cihazı ile analiz edilmiştir. Böylelikle, mikroakışkan çip sistemi içerisinde gerçekleştirilmesi planlanan detoksifikasyon işlemi hakkında ön fikir edinilmesi sağlanmıştır. Başlangıç IS konsantrasyonu 0.03 mg/mL olarak belirlenmiş ve 4 saatin (ortalama bir diyaliz muamelesi süresi) sonunda 100 mg ve 50 mg Zeolit içeren hidrojel ile Zeolit içermeyen TEOS-PEO monolit hidrojellerin denendiği kesikli adsorpsiyon denemelerinde simüle kan sıvısında kalan IS konsantrasyonları sırasıyla 0.0152, 0.0137 ve 0.0134 mg/mL olarak bulunmuştur (Şekil 10). Monolit başına 100 mg Zeolit içeren jellerle yapılabilen denemelerde, 2. ve 3. saatlerde simüle kan sıvısında adsorplanmadan kalan IS konsantrasyonları, zeolit içermeyen veya 50 mg konsantrasyonda Zeolit içeren jellerden daha düşük olarak ölçülmüştür. Ayrıca, 50 mg konsantrasyonda Zeolit içeren jellerde adsorplanmadan kalan IS konsantrasyonunun zeolit içermeyen jellerden daha düşük olması da hedeflendiği üzere Zeolit katkısının IS adsorpsiyonunu olumlu yönde etkilediğini ortaya çıkarmıştır. 4 saatlik denemenin sonunda bu yönelimin tersine dönerek zeolitsiz jelde adsorpsiyon devam ederken, zeolit katkılı monolit jellerin muamele edildiği simüle kan sıvısında adsorplanmadan kalan IS konsantrasyonunda ise hafif bir artış meydana gelmiştir. Bu durum, bu monolitlerdeki zeolit katkısının jellerin dayanımını muhtemelen olumsuz etkilediğini ve bozulmaya başlayan jellerden adsorplanmış IS moleküllerinin kaçışına olanak sağladığını düşündürmüştür.

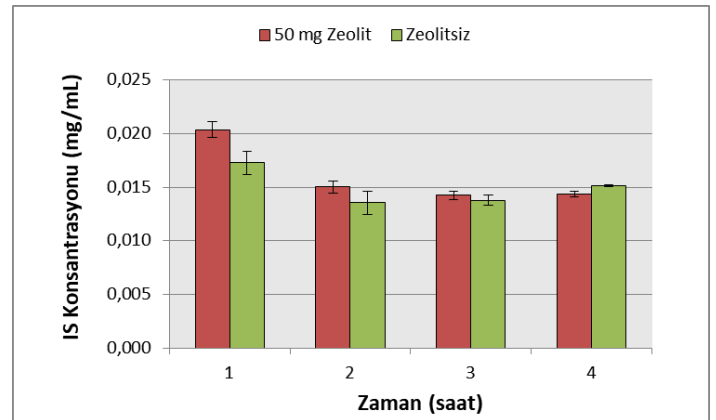


Şekil 10. Kesikli adsorpsiyon denemeleri sonrasında IS molekülünün simüle kan içerisinde zamana bağlı konsantrasyon grafiği

### 3.4. Mikroakışkan Platformda Adsorpsiyon Denemeleri

Albümine bağlı üremik toksinlerin adsorpsiyon miktarının belirlenebilmesi için gerçekleştirilen kesikli adsorpsiyon denemelerinin ardından mikroakışkan çip denemeleri gerçekleştirilerek geliştirilen sistemin adsorpsiyon sonuçları elde edilmiştir. Saatte 600 µL örnek toplanmış ve 4 saatin sonunda her bir çip için 2400 µL örnek elde edilmiştir. Ependorflarda toplanan simüle kan sıvısı örnekleri, ultrasantrifüjde fraksiyonlanarak, süpernatantın en üstten alınan 30 µL'sinde

bulunan serbest IS konsantrasyonu nanodrop ile ölçülmüştür (Şekil 11). Zeolit içeren hidrojellerle yüklü mikroakışkan çiplerde adsorplanmadan kanalı terk eden IS konsantrasyonu, zeolit içermeyen jellerle yüklenen mikroakışkan çiplere göre özellikle ilk saatlerde daha yüksek olarak belirlenmiştir. Beherlerdeki simüle kan sıvısı içerisinde, monolit halindeki zeolit katkılı jellerin manyetik karıştırıcı yardımıyla karıştırıldığı kesikli adsorpsiyon denemelerinde elde edilenin aksine, mikroakışkan çiplerde gerçekleştirilen adsorpsiyon denemelerinde zeolit katkılı jeller zeolit içermeyenlere göre IS adsorpsiyonunda olumlu bir artış sağlayamamıştır. Beherlerde gerçekleşen çok yönlü karışmanın aksine, mikroakışkan çiplerde tek yönlü ilerleyen simüle kan sıvısının özellikle kanalın ilk girişinde yarattığı yüksek basınç nedeniyle, dayanımlarının daha düşük olduğu düşünülen zeolit içerikli jeller ile mikrokanal iç yüzeyinin temas ettiği alandan bu sıvının sızarak çipi terk ettiği, dolayısıyla da porlara yeterince difüze olmadan sistemi terk eden simüle kan sıvısından adsorplanabilen IS konsantrasyonunun daha düşük olmasına sebep olduğu sonucuna varılmıştır. Mikroakışkan çiplerden 3 saatlik süre sonunda zeolit içeren jellerle yüklü çipi terk eden simüle kan sıvısı numunelerinde adsorplanmadan kalan IS konsantrasyonunun düşmesi, ilerleyen saatlerde porlar içerisine difüze olan simüle kan sıvısı nedeniyle adsorplanabilen IS konsantrasyonunun da arttığını düşündürerek bu hipotezi desteklemiştir. 4. saatin sonunda zeolit içeren ve içermeyen jeller ile yüklü çiplerde adsorplanan IS miktarlarında önemli bir fark görülmemiştir.



Şekil 11. Mikroakışkan çiplerle gerçekleştirilen adsorpsiyon denemeleri sonrasında IS molekülünün simüle kan içerisinde zamana bağlı konsantrasyon grafiği

Proteine-bağlı bir diğer toksin olan p-cresol'ün *in vitro* koşullarda MFI tipi zeolit parçacıkları ile %80-85 oranında elimine edilebildiği bildirilmiştir (Bergé-Lefranc ve diğerleri, 2012). Ancak insan serum albümini ile birlikte iken p-cresol toksinin proteine bağlanma isteği nedeniyle zeolite afinitesinin düştüğü, dolayısıyla zeolitlerin ancak serum albümini içermeyen kan ultra-filtratı için adsorbent olarak kullanılması önerilmiştir. BSA içeren simüle kan sıvısı ile gerçekleştirilen bu çalışmada ise IS adsorpsiyon verimleri Zeolit içeren ve içermeyen hidrojellerle yüklü mikroakışkan çipler için sırasıyla %53.27 ve %49.78 olarak hesaplanmıştır. Dolayısıyla Zeolit ile fonksiyonelleştirilen TEOS-PEO hidrojel ile yüklü mikroakışkan çiplerin, diyaliz sistemlerine entegrasyona çok daha uygun olduğu kanaatine varılmıştır.

## 4. Sonuç

Bu çalışmada, kan temsili toksin içeren tampon çözeltinin (simüle kan sıvısı) platform içerisinde kalış süresini arttırmak ve yüzey alanını genişletmek amacıyla Solid Works çizim programı kullanılarak S-şekilli bir mikroakışkan çip tasarlanmıştır. Tasarımın optimum deneme koşullarını belirleyebilmek için, Comsol programında simülasyon yapılarak, simüle kan sıvısının kullanıldığı detoksifikasyon denemelerine uygunluğu analiz edilmiştir. Daha sonra mikroakışkan sistem içerisine yerleştirilen Na-Y Zeolit içeren adsorban hidrojel aracılığı ile proteine bağlı bir üremik toksin (PBUT) olan indoksil sülfat adsorpsiyonunun incelenmesi öncesinde, mikrosistem ile karşılaştırma amaçlı *in vitro* kesikli adsorpsiyon denemeleri kurulmuştur. Belirlenen süre boyunca, simüle kan sıvısı örnekleri toplanmış ve indoksil sülfat içerikleri, UV spektrometre ve nanodrop ile analiz edilmiştir. Diyaliz hastalarının kanında bulunan konsantrasyonda indoksil sülfat (PBUT) içeren simüle kanın geliştirilen mikrosistemden geçirilmesi ile indoksil sülfat adsorpsiyonunun incelendiği bu çalışmanın, klinikte KBH hastalarının kanında dolaşan PBUT'lerin uzaklaştırılmasını sağlayabilecek yenilikçi yöntemler geliştirilmesine yardımcı olabileceği düşünülmektedir.

## 5. Teşekkür

Bu çalışma "Proteine Bağlı Üremik Toksinlerin In Vitro Adsorpsiyonunun Mikroakışkan Platformda Modellemesi" başlıklı 2209/A projesi kapsamında TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir.

## Kaynakça

- Armignacco P., Garzotto F., Neri M., Lorenzin A., Ronco C. (2015). Wak engineering evolution. *Blood Purification*, 39(1-3), 110-114.
- Bergé-Lefranc, D., Vagner, C., Calaf, R., Pizzala, H., Denoyel, R., Brunet, P., ... Schäfer, O. (2012). *In vitro* elimination of protein bound uremic toxin p-cresol by MFI-type zeolites. *Microporous and Mesoporous Materials*, 153, 288–293.
- Caravaca, F., Arrobas, M. ve Dominguez, C. (2000). Serum Albumin and Other Serum Protein Fractions in Stable Patients on Peritoneal Dialysis. *Peritoneal Dialysis International*, 20, 703–707.
- Davenport, A. (2014). How can dialyzer designs improve solute clearances for hemodialysis patients?. *Hemodialysis International*, 18(1), 43–47.
- Eyüpoğlu, C. (2020). Kronik Böbrek Hastalığının Erken Tanısı için Yeni Bir Klinik Karar Destek Sistemi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 20, 448-455.
- Floege, J., Granolleras, C., Deschodt, G., Heck, M., Baudin, G., Branger, B., Tournier, O., Reinhard, B., Eisenbach, G.M., Smeby, L.C., et al. (1989). High-flux synthetic versus cellulosic membranes for beta 2-microglobulin removal during hemodialysis, hemodiafiltration and hemofiltration. *Nephrology Dialysis Transplantation*, 4(7), 653-657.
- Gura, V., Rivara, M. B., Bieber, S., Munshi, R., Smith, N. C., Linke, L., et al. (2016). A wearable artificial kidney for patients with end-stage renal disease. *JCI Insight*, 1(8), e86397.
- Ikizler, T. A., Flakoll, P.J., Parker, R.A., Hakim, R.M. (1994) Amino Acid and Albumin Losses During Hemodialysis. *Kidney Internationale*, 46(3), 830–837.

- Kaplan, A.A., Halley, S.E., Lapkin, R.A., Graeber, C.W. (1995) Dialysate Protein Losses with Bleach Processed Polysulphone Dialyzers. *Kidney Internationale*, 47(2), 573–578.
- Krieter, D.H., Hackl, A., Rodriguez, A., Chenine, L., Moragues, H.L., Lemke, H.-D., et al. (2010). Protein-bound uremic toxin removal in haemodialysis and post-dilution haemodiafiltration. *Nephrology Dialysis Transplantation*, 25(1), 212-218.
- Maduell, F., Arias-Guillen, M., Fontseré, N., Ojeda, R., Rico, N., Vera, M., Elena, M., Bedini, J.L., Wieneke, P., Campistol, J.M. (2014) Elimination of Large Uremic Toxins by a Dialyzer Specifically Designed for High-Volume Convective Therapies. *Blood Purification*, 37(2), 125–130.
- Shinzato, T., Miwa, M., Nakai, S., Takai, I., Matsumoto, Y., Morita, H., Miyata, T., Maeda, K. (1996) Alternate Repetition of Short Fore- and Back filtrations Reduces Convective Albumin Loss. *Kidney Internationale*, 50(2), 432–435.
- Tırnakçı, B. Salt, Y., Salt, İ., Keyf, S. (2020). Klinoptilolit Dolgulu PVA Membranların Hazırlanması, Karakterizasyonu ve Pervaporasyon ile Desalinasyon Çalışmaları. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 18, 711-718.
- Vanholder, R., Schepers, E., Pletinck, A., Neiryck, N. ve Glorieux, G. (2012). An Update on Protein-Bound Uremic Retention Solutes. *Journal of Renal Nutrition*, 22(1), 90–94.
- Vanholder, R., Schepers, E., Pletinck, A., Nagler, E. V., & Glorieux, G. (2014). The uremic toxicity of indoxyl sulfate and p-cresyl sulfate: A systematic review. *Journal of American Society of Nephrology*, 25(9), 1897-1907.
- Yesil-Celiktas, O., Cumana, S., Smirnova, I. (2013). Silica-based monoliths for enzyme catalyzed reactions in microfluidic systems with an emphasis on glucose 6-phosphate dehydrogenase and cellulase. *Chemical Engineering Journal*, 234, 166-172.
- Zweigart, C., Boschetti-de-Fierro, M., Neubauer, M., Storr, M., Böhrer, T. ve Krause, B. (2017) Progress in the Development of Membranes for Kidney-Replacement Therapy. *Comprehensive Membrane Science and Engineering (Second Edition) içinde* (2. bs. Cilt 4, 214-247. ss.). Amsterdam: Elsevier B.V.



## Ette Lipit Oksidasyonu ve Etkileyen Faktörler

Güleren Sabuncular<sup>1\*</sup>, Gamze Akbulut<sup>2</sup>, Mustafa Yaman<sup>3</sup>

<sup>1\*</sup> Marmara Üniversitesi, Sağlık bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-5922-295X), [gulerenserin@hotmail.com](mailto:gulerenserin@hotmail.com)

<sup>2</sup> Gazi Üniversitesi, Sağlık bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, Ankara, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-0197-1573), [gakbulut@gazi.edu.tr](mailto:gakbulut@gazi.edu.tr)

<sup>3</sup> İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi, Sağlık bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-9692-0204), [mustafa.yaman@izu.edu.tr](mailto:mustafa.yaman@izu.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 26 Nisan 2021 ve Kabul Tarihi 10 Eylül 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.924905)

**ATIF/REFERENCE:** Sabuncular, G., Akbulut, G. & Yaman, M. (2021). Ette Lipit Oksidasyonu ve Etkileyen Faktörler. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (27), 362-369.

### Öz

Et, lipit ve hem demir açısından zengin bir besin olması nedeniyle lipit oksidasyonuna oldukça duyarlıdır. Et ürünlerinde bozulmanın mikrobiyal olmayan ana nedeni lipit oksidasyonudur. Hayvanın kesilmesinden başlayıp tüketime kadar oksidasyon süreci devam eder. Doymamış yağ asitleri serbest radikal zincir mekanizması yoluyla oksijen ile reaksiyona girerek hidrokarbonlar, aldehitler, ketonlar, alkoller, esterler gibi çok sayıda ikincil bileşik oluşturur. Malondialdehit ikincil lipit oksidasyonunda en çok oluşan aldehitlerdendir. Lipit oksidasyonu içsel ve dışsal birçok faktörden etkilenir. Etin bileşiminde bulunan metaller, prooksidan ve antioksidan enzimler içsel faktörleri oluştururken; depolama, paketlenme, işleme teknikleri, pişirme, doğrama, kıyma gibi hazırlama teknikleri dışsal faktörleri oluşturmaktadır. Yağ asidi bileşimi, oksijen mevcudiyeti, pro- ve antioksidanların miktarları, katkı maddelerinin kullanımı (baharatlar, otlar ve tuz), işleme koşulları (ışınlama, pişirme, öğütme, kesme, karıştırma), paketlenme (oksijen geçirgen, vakum, modifiye atmosfer ve aktif-paketlenme) ve depolama (sıcaklık ve zaman) koşulları, ette lipit oksidasyonunun hızı ve gelişimi için önemlidir. Bu derlemede ette lipit oksidasyonunu etkileyen faktörler incelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Lipit, Oksidasyon, Et.

## Lipid Oxidation in Meat and Affecting Factors

### Abstract

Due to its rich lipid and heme iron content, meat is very sensitive to lipid oxidation. The main non-microbial cause of spoilage in meat products is lipid oxidation. The oxidation process continues from the slaughter of the animal to consumption. Unsaturated fatty acids react with oxygen through free radical chain mechanism and form numerous secondary compounds such as hydrocarbons, aldehydes, ketones, alcohols, esters. Malondialdehyde is one of the most common aldehydes in secondary lipid oxidation. Lipid oxidation is affected by many internal and external factors. While metals, prooxidant and antioxidant enzymes constitute internal factors in the composition of meat; Storage, packaging, processing techniques, cooking, and preparation techniques such as chopping and mincing meat are external factors. Fatty acid composition, the presence of oxygen, quantities of pro- and antioxidants, use of additives (spices, herbs and salt), processing conditions (irradiation, cooking, grinding, cutting, mixing), packaging (oxygen permeable, vacuum, modified atmosphere and active- packaging) and storage (temperature and time) conditions are important for the rate and development of lipid oxidation in meat. In this review, factors affecting lipid oxidation in meat were examined.

**Keywords:** Lipid, Oxidation, Meat.

\* Sorumlu Yazar: [gulerenserin@hotmail.com](mailto:gulerenserin@hotmail.com)

## 1. Giriş

Et, biyolojik değeri yüksek protein, demir, çinko, selenyum ve B<sub>12</sub> vitamini içeriği ile dengeli beslenmenin önemli bir bileşenidir (Pereira ve Vicente, 2013). Etin yağ içeriği ve bileşimi besin değerinin önemli belirleyicisidir (Scollan ve ark., 2017). Lipitler, tüm et türlerinin önemli bileşenleridir ve etlerin birçok özelliğinden sorumludur. Etlerin lezzet ve aroma profili için önemlidir, yumuşaklığına ve sululuğa katkıda bulunur (Amaral ve ark., 2018). Et; protein, lipit ve hem demir açısından zengin bir besin olması nedeniyle üretim ve depolama sırasında meydana gelen kimyasal ve enzimatik işlemlerin sonucu olarak kolay bozulabilir özelliktedir. Ette bulunan lipitler ve proteinler oksidasyona duyarlıdır (Papuc ve ark., 2017). Lipit oksidasyonu, et ve et ürünlerinde kalitenin bozulmasının mikrobiyal olmayan ana nedenidir ve kesimden başlayıp son ürün tüketilene kadar aşamalı olarak devam eder. Lipit oksidasyonunda, temel olarak, doymamış yağ asitleri, serbest radikal zincir mekanizması yoluyla moleküler oksijen ile reaksiyona girer. Bu reaksiyondan türetilen hidroperoksitler, ilk oksidasyon ürünleri olarak kabul edilir ve diğer lipit türevi ürünlerin aksine, kokusuzdur ve aromaya herhangi katkısı yoktur (Dominguez ve ark., 2019). Bununla birlikte, bu bileşikler oldukça kararsızdır, bu nedenle hızla ayrışır ve hidrokarbonları, aldehytleri, ketonları, alkoller, esterleri ve asitleri içeren çok sayıda ikincil bileşikler oluşur (Ross ve Smith, 2006). Oksidasyon süreçlerinden türetilen tüm bileşikler içinde, aldehytler en önemli parçalanma ürünleri ve ette uçucu tada en büyük katkı sağlayanlar olarak kabul edilir. Lipit oksidasyonundan türetilen baskın aldehytler arasında n-alkanoller, trans-2-alkanoller, 4-hidroksi-trans-2-alkanoller ve malondialdehit (MDA) bulunur (Dominguez ve ark., 2019). Malondialdehit, ikincil lipit oksidasyonu sırasında oluşan en bol aldehytlerden biridir ve oksidasyon belirteci olarak en yaygın olarak kullanılmaktadır (Barriuso ve ark., 2013).

Etin bileşimi, işleme teknikleri, pişirme veya ısıtma koşulları, doğrama veya kıyım haline getirme, tuz, nitrit, baharat ve antioksidanlar gibi katkı maddelerinin kullanımı, paketleme ve depolama süresi gibi faktörler et ürünlerinin oksidatif stabilitesini etkiler (Mariutti ve Bragagnolo, 2017). Bu derlemede, ette lipit oksidasyonu ve çeşitli faktörlerin etkisi incelenmiştir.

## 2. Lipit Oksidasyonu ve Mekanizması

Lipit oksidasyonu, etlerdeki yağ dokularının bozulmasının başlıca nedeni olan, etin kalitesini doğrudan etkileyen kaçınılmaz bir süreçtir. Lipitler, oldukça karmaşık mekanizmalar yoluyla çeşitli faktörlerin neden olduğu oksidatif reaksiyonlara katılan, kimyasal olarak en kararsız besin bileşenlerinden biridir (Amaral ve ark., 2018). Üç ana yolla lipit oksidasyonu gerçekleşmektedir; foto-oksidasyon, enzimle katalize edilen oksidasyon ve oto-oksidasyon (Dominguez ve ark., 2019). Foto-oksidasyonun gelişimi için ışık, ışığa duyarlılaştırıcı ve oksijen gereklidir. Enzimle katalize edilen oksidasyon, lipoksijenaz ve siklooksijenaz ile ilgilidir ve uzun zincirli n-3 ve n-6 yağ asitlerinden gelen eikosanoidlerdeki biyolojik sistemlerde önemlidir. Serbest radikal oksidasyonu olarak da adlandırılan oto-oksidasyon etteki kötü koku oluşumuna, toksik bileşiklerin oluşumuna, fonksiyonel özelliklerin ve besin değerinin kaybına neden olur (Huang ve Ahn, 2019). Üç mekanizma arasında, sürekli bir serbest radikal zincir reaksiyonu olan oto-oksidasyon, ette lipit oksidasyonunun en önemli sürecidir. Enzimatik ve foto-oksidasyon mekanizmaları, sadece başlangıç aşamasında

hidroperoksitlerin oluşumunda oto-oksidasyondan farklılık gösterir (Dominguez ve ark., 2019).

Oto-oksidasyon, üç adımla karakterize edilen radikal bir zincir reaksiyonu olarak gerçekleşir; başlatma, yayılma ve sonlandırma (Králová, 2015). Genel olarak, başlatma fazında serbest radikaller oluşur, yayılma fazında reaktif bileşiklerin sayısı çoğalır ve sonlandırma fazında reaktif bileşikler bozunur veya reaktif olmayan bileşik vermek için reaksiyona girer (Dominguez ve ark., 2019).

Başlatma fazında doymamış bir yağ asidi ile bir oksijen molekülü etkileşime girer; ancak bu spontane bir reaksiyon değildir (Dominguez ve ark., 2018). Oto-oksidasyon, bir hidrojen atomunun çıkarılması için bir başlangıç aktivasyon enerjisi gerektirir, bu nedenle yüksek sıcaklıklar ve çift bağların varlığı ile tetiklenir. Foto-oksidasyon, ışığa maruz kalma ve ışığa duyarlılaştırıcıların mevcudiyeti altında üçlü moleküler oksijenin uyarılmasıyla oluşan yüksek dercede reaktif singlet oksijen türleri tarafından tetiklenir (Barriuso ve ark., 2013). Başlatma fazında, hidrojen doymamış bir yağ asidinden çıkarıldığında elde edilen alkil radikali, konjuge dienler veya trienler oluşturmak için çift bağlı bir yeniden düzenleme ile stabilize edilme eğilimindedir. Bu alkil radikalleri, lipit oksidasyonunu başlatan ilk serbest radikallerdir. Başlangıç fazında, normalde, lipit oksidasyon ürünlerinin birikiminin yavaş olduğu bir gecikme fazı gözlenir (Dominguez ve ark., 2018). Bunun başlıca nedeni, hidroperoksit birikiminden önce serbest radikallerin yavaş oluşumu ve serbest radikallerin yağ asitleri ile etkileşimini önleyen antioksidanların varlığıdır (Barden ve Decker, 2016).

Oksidasyonun yayılma fazı, radikal oluşumunun büyütülmesiyle sonuçlanan lipit-lipit etkileşimleriyle gerçekleşir (Dominguez ve ark., 2018). Başlatma fazında elde edilen alkil radikali bir peroksil radikali oluşturmak için oksijen ile etkileşime girdiğinde yayılma fazı başlar. Bu peroksil radikali, hidrojenin başka bir doymamış yağ asidinden ayrılması için yeterli enerjiye sahiptir, böylece başka bir alkil radikali ve bir lipit hidroperoksit oluşturur. Bu nedenle yayılma, bir serbest radikalın bir yağ asitinden diğerine aktarılmasını içerir (Barden ve Decker, 2016). Bununla birlikte, oksijenin yokluğunda yayılma meydana gelmez, bu da oksijenin varlığını lipit oksidasyon süreci için çok önemli kılar (Huang ve Ahn, 2019).

Lipit oksidasyonunun son adımı, lipit peroksil radikalının birbiriyle reaksiyona girdiği ve / veya radikal olmayan ürünler oluşturmak için kendi kendini yok ettiği sonlandırma fazıdır (Min ve Ahn, 2005). Sonlandırma aşaması sırasında, iki radikal reaksiyona girerek yağ asidi dimerleri, trimerler ve oligomerler gibi radikal olmayan bir molekül oluşturur (Barden ve Decker, 2016). Benzer şekilde, bir antioksidan bileşik, bir hidrojen atomunu lipit oksidasyonundan türetilen radikal türlere aktarabilir. Bu reaksiyon, lipit radikalını nötralize eder ve antioksidan bileşikten çok daha az reaktif olan yeni bir radikal oluşturur (Dominguez ve ark., 2018).

## 3. Lipit Oksidasyonunun Sağlığa Zararları

Lipit oksidasyonu, raf ömrünü kısaltarak et ve et ürünlerinin kalitesinin bozulmasından sorumlu olan ana süreçtir ve renk, doku, besin değeri, tat ve aromayı etkilemektedir (Amaral ve ark., 2018). Etin duyuşal nitelikleri üzerindeki zararlı etkileri yanında, hastalıklara neden olabilecek veya ürünleri tüketenlerin sağlığı üzerinde olumsuz etkilere sahip olabilecek serbest radikaller ve toksik bileşikler oluşur. 4-hidroksinonenal, malonaldehit gibi lipit

oksidasyonunun birçok birincil ve ikincil yan ürünü, potansiyel karsinojenler olarak bilinir (Csala ve ark., 2015). Bu bağlamda, lipit hidroperoksitlerin hücre sitotoksitesine katkıda bulunduğu ve düşük hidroperoksit konsantrasyonlarının hücreler üzerinde toksik etkiler oluşturacağı sonucuna varılmıştır (Angeli ve ark., 2011). Kolesterol oksidasyon ürünleri ayrıca arteriyel hücreler için kolesterolden daha tehlikelidir ve koroner hastalıklar, mutajenik aktivite ve ateroskleroz ile ilgilidir. Lipit oksidasyonundan türetilen aldehitlerin ve oksisterollerin proinflatuvar, sitotoksik ve mutajenik etkilere sahip olduğu, bu nedenle, oksidasyon ürünlerinin sayısız hastalığın gelişiminde veya ilerlemesinde rol oynadığı açıktır (Dominguez ve ark., 2019). Karbonil bileşikleri hücre sel sinyal transdüksiyonunu etkileyebilir, hidroperoksitlerin DNA'ya zarar verdiği bilinmektedir ve epoksitler ve hidrojen peroksit yan ürünleri bilinen kanserojenlerdir. Oksidatif süreçler sırasında üretilen lipit radikalleri, reaktif oksijen türleri, reaktif nitrojen türleri ve reaktif sülfür türleri dahil olmak üzere serbest radikaller, insan vücudundaki oksidatif stresi artırabilir (Huang ve Ahn, 2019). Mevcut literatür, diyet oksidasyon bileşiklerinin bir kısmının lenfte veya doğrudan kan dolaşımına emildiğini ve biyolojik sistemlerde oksidatif hasarı indükleyebildiğini göstermektedir (Kanner, 2007; Van Hecke ve ark., 2016). Oksidatif stres birçok hastalığın etiolojisi ve ilerlemesindeki önemli faktörlerden biridir (Macho-González ve ark., 2020). Doğrudan veya dolaylı olarak inflamatuvar hastalıklar, kanser, diyabet, Alzheimer hastalığı, Parkinson hastalığı, ateroskleroz, kalp yetmezliği, karaciğer yağlanması, kronik yorgunluk sendromu, obezite ve depresyon gibi çeşitli hastalıklarda rol oynamaktadır (Huang ve Ahn, 2019).

#### 4. Lipit Oksidasyonunu Etkileyen Faktörler

Lipit oksidasyonu, substratlar ve katalizörler arasındaki çok karmaşık reaksiyonlar ve etkileşimlerle çoklu mekanizmaları içeren bir süreçtir. Bu reaksiyonlar farklı faktörlerden etkilenir. Aslında, hem içsel (yağ asidi bileşimi, hem-proteinler, metaller, prooksidan enzimler, antioksidan enzimler, vitaminler vb.) hem de dışsal faktörler (işleme ve saklama koşulları vb.) oksidatif reaksiyonları teşvik edebilir veya inhibe edebilir. Bu nedenle etin oksidatif stabilitesi, anti- ve prooksidan bileşiklerin dengesine bağlıdır (Dominguez ve ark., 2019). Yağ asidi bileşimi, oksijen mevcudiyeti, serbest radikal başlatıcıların/propagatörlerin varlığı, pro- ve antioksidanların miktarları, katkı maddelerinin kullanımı (baharatlar, otlar ve tuz gibi), işleme koşulları (ışınlama, pişirme, öğütme, kesme, karıştırma) ve paketleme (oksijen geçirgen, vakum, modifiye atmosfer ve aktif-paketleme, vb.) ve depolama (sıcaklık ve zaman) koşulları, ette lipit oksidasyonunun hızı ve gelişimi için önemlidir (Huang ve Ahn, 2019).

##### 4.1. Lipit Miktarı ve Kompozisyonu

Hayvanın türü veya ırkı, yetiştirme sistemi, kas tipi, anatomik konum veya hayvanların yemi gibi faktörler et bileşimini önemli ölçüde değiştirdiğinden, dolaylı olarak oksidasyonu etkiler. Lipitler, oksidasyonunun gelişimi için ana substrat olduklarından en önemli parametrelerden biridir (Dominguez ve ark., 2019). Etteki lipitler kas içi, kaslar arası ve deri altı yağ depolarında esas olarak gliserol esterler, kolesterol, fosfolipitler ve yağ asit esterleri şeklinde depolanır (Scollan ve ark., 2017). Büyükbaş hayvan etinin lipit içeriği %2,5 ila %24 arasında değişir; kaslar arası lipitler esas olarak triasilgliserollerden oluşur ve kas içi lipitler ağırlığın yaklaşık %5'ini oluşturur ve fosfolipitlerden ve triasilgliserollerden oluşur (Guyon ve ark., 2016). Kas içi lipit

artışı, yağ hücrelerinin (trigliseridler) hacminde bir artışa neden olurken, membranların sayısı değişmediğinden fosfolipitlerin sayısı sabit kalmaktadır (Dominguez ve ark., 2019). Lipitlerin çoğunluğu trigliserid fraksiyonunda olmasına rağmen, fosfolipitlerin lipit oksidasyonunun gelişiminde temel olduğu ileri sürülmüştür. Bu yüksek fosfolipit reaktivitesinin iki ana açıklaması vardır. Birincisi, membranlardaki lipitler oksidasyon katalitik bölgelerine daha yakın olduğundan, lipit oksidasyonunun yayılma hızını kolaylaştırır. İkinci olarak, fosfolipitlerin trigliseridlerden daha yüksek miktarda çoklu doymamış yağ asitlerine sahiptir (Amaral ve ark., 2018).

Bazı yazarlar, lipit miktarının oksidasyona katkıda bulunduğunu onaylarken (Van Hecke ve ark., 2014; Van Hecke ve ark., 2016b; Steppeler ve ark., 2016), diğer yazarlar yağ asitleri bileşiminin yağ miktarından daha önemli olduğuna işaret etmektedir (Min ve ark., 2008). Tablo 1'de lipit miktarı ve kompozisyonunun lipit oksidasyonuna etkisi gösterilmiştir. Steppeler ve ark., (2016) yağ miktarı yüksek ette toplam etin gramı başına MDA konsantrasyonunun yüksek olması ile birlikte yağ gramı başına MDA konsantrasyonlarının düşük yağlı ette daha yüksek olduğunu bulmuşlardır. Bunun yağsız ette biraz daha yüksek sayıda çift bağ ve daha yüksek toplam demir içeriği ile açıklanıp açıklanamayacağını belirsizliğine işaret etmişlerdir. Yağsız ette (çok düşük kas içi yağ içeren), yüksek oranda fosfolipit olması yağsız eti oksidasyona çok duyarlı hale getirir. Bu nedenle oksidatif duyarlılık açısından yağın doymamışlığı yağ miktarından çok daha önemli bir parametredir (Dominguez ve ark., 2019). Doymamış grupların (çift bağ) artması ile lipit oksidasyonu önemli ölçüde artar (Amaral ve ark., 2018). Çoklu doymamış yağ asidine bir çift bağ eklenmesinin, yağ asidinin oksitlenme oranını en azından iki katına çıkardığı, cis biçiminin genellikle trans biçiminden daha kolay oksitlendiği gösterilmiştir. Bu nedenle, doymamışlığın artmasıyla lipit oksidasyonu artar (Barden ve Decker, 2016). Çoklu doymamış yağ asitleri, tekli doymamış yağ asitlerinden daha hızlı oksitlenir. Linoleik asit (C18: 2) oksidasyonu, oleik asidin (C18: 1) oksidasyonundan on kat daha hızlı gerçekleşirken, oleik asidin oksidasyonu linolenik asidin oksidasyonundan (C18: 3) 20 ila 30 kat daha yavaş gerçekleşir (Amaral ve ark., 2018). Kırmızı etlere göre çok daha yüksek doymamışlık derecesine sahip olduğundan kanatlı etinde bu özellik çok önemlidir (Dominguez ve ark., 2019).

##### 4.2. Metal İyonları

Enzimler, ışık, yüksek sıcaklıklar gibi metaller ve metaloproteinler de öncelikle serbest radikaller ve/veya reaktif oksijen türleri üreten reaksiyonlar yoluyla oksidasyonu hızlandırdıklarından, başlangıç aşamasında lipit oksidasyonunu stimüle edebilir (Barden ve Decker, 2016). Geçiş metalleri arasında demir, ana katalizördür ve reaktif oksijen türlerinin üretimindeki rolünden dolayı lipit oksidasyonunda kritik bir rol oynar (Huang ve Ahn, 2019). Metal iyonu bir elektronu hidroperoksite aktarır ve bu da parçalanmasına neden olur. Bu nedenle, ette bulunan demir hidroperoksitlerin ayrışması için önemli bir katalizördür ve demir iyonu ile reaksiyonda ferrik iyondan daha hızlıdır (Dominguez ve ark., 2019). Hem pigmentleri de güçlü prooksidanlar olarak kabul edilir. (Huang ve Ahn, 2019). Demir, Fenton reaksiyonu yoluyla hidroksil radikali üretimini katalize edebilir. Etteki lipit oksidasyonundan birincil olarak serbest demir ve/veya ferril miyoglobinin sorumlu olduğu öne sürülmüştür. Yüksek miyoglobin konsantrasyonuna sahip kasların lipit oksidasyonuna daha duyarlı olduğu bilinmektedir. Metmiyoglobinin hidrojen peroksit veya lipit hidroperoksitler ile

etkileşiminin, serbest radikal zincir reaksiyonunu başlatabilen ferrilmiyoglobulin oluşumuyla sonuçlandığına dair kanıtlar vardır (Amaral ve ark., 2018). Daha yüksek demir ve miyoglobulin konsantrasyonları, daha yüksek oranda lipit oksidasyonu ile ilişkilidir (Faustman ve ark., 2010). Min ve ark. (2010), serbest iyonik demir ilave edilen pişmiş tavuk etinde lipit oksidasyonunun miyoglobine göre daha belirgin olduğunu bulmuş ve serbest iyonik demirin lipit oksidasyonu için ana katalizör olduğunu öne sürmüştür. Etler arasında sığır eti, lipit oksidasyonuna en duyarlı olanıdır. Hem pigment içeriği ve katalaz aktivitesindeki farklılıkların çığ ette lipit oksidasyon oranını belirlediği öne sürülmüştür. Daha yüksek hem pigment içeriğine (sığır eti) sahip etlerin, oksimiyoglobulin oto-oksidasyonu sırasında daha az hem pigmentli etlere göre daha fazla hidrojen peroksit ( $H_2O_2$ ) ürettikleri belirtilmiştir (Min ve ark., 2008). Metal iyonların lipit oksidasyonuna etkisi Tablo 1'de özetlenmiştir.

### 4.3. Depolama, İşleme, Hazırlama ve Pişirme

Sıcaklık, ışık ve oksijenin varlığı gibi faktörler oksidatif süreçleri artırır. Depolama koşullarının lipit oksidasyonunun artmasında çok büyük önemi vardır. Benzer şekilde, belirli işleme teknikleri de oksidasyonu stimüle eder (Dominguez ve ark., 2019). Kesme, doğrama işlemleri, kemik çıkarma, ısıtma, olgunlaştırma, katkı maddeleri, oksijene maruz kalma gibi çeşitli faktörler et ve et ürünlerindeki lipit oksidasyon oranını etkileyebilir (Amaral ve ark., 2018). Genel olarak, tüm işlemler oksidatif reaksiyonları teşvik eden kas zarının bozulmasına neden olur. Bu durum, serbest kalan membran fosfolipitlerinin işlenmesi, oksidasyonu teşvik eden oksijen, enzimler veya metaller gibi prooksidan bileşenlerle teması arttırmakla ilgilidir (Dominguez ve ark., 2019).

#### Depolama/Saklama

Oksijen, depolama sırasında lipit oksidasyonuna katkıda bulunan önemli bir faktördür. Oksijen yokluğunda, pro-oksidanların depolama sırasında oksidasyon üzerinde minimum etki gösterdiği gösterilmiştir (Amaral ve ark., 2018). Dondurma, et ve et ürünleri için önemli saklama yöntemlerinden biridir. Dondurarak depolama sırasında, farklı et bileşenleri arasında birçok reaksiyon meydana gelebilir. Örneğin, dondurulmuş ette fosfolipitlerin lipazlar tarafından parçalanması gözlemlenmiştir. Bu reaksiyonlar çeşitli donma sıcaklıklarında ve depolama sürelerinde meydana gelir (Soyer ve ark., 2010). Bazı yazarlar depolama sıcaklığının düşmesi ile lipit oksidasyon oranının azaldığını söylerken (Wang ve ark., 2020), diğer yazarlar farklı sıcaklıkların etkisini olmadığını, ancak saklama süresinin, etlerin peroksit değerini üzerine önemli bir etkiye sahip olduğunu belirtmiştir (Coombs ve ark., 2018; Soyer ve ark., 2010; Muela ve ark. 2015). Soyer ve arkadaşlarının (2010) yaptığı çalışmaya göre 6 ay boyunca farklı sıcaklıklarda depolanmanın tavuk etindeki lipit oksidasyonuna etkisi olmadığı bulunmuştur. Bununla birlikte, tavuk but ve göğüs etinde ortalama peroksit değeri, 2 ve 3 aylık depolama sonunda yükselmiş ve 6 aylık depolamadan sonra düşmüştür. Artışın muhtemel sebebini, depolanmanın 1, 2 ve 3. ayları sırasında peroksit oluşumunun daha hızlı olması, daha sonra ise peroksitlerin bozunması ile açıklamışlardır.

Depolama sürecinde besinlerin kalitesini koruyan ve oksijene maruz kalmayı engelleyen faktörlerden biri de ambalajlamadır (Aday, 2021). Depolama sırasında oksijenin ete erişimi, sıcaklık ve süreden başka, kullanılan paketleme yöntemlerinden ve malzemelerden de etkilenir (Huang ve Ahn, 2019). Yüksek miktarda oksijen ile ambalajlanan ette lipit oksidasyonu nispeten

kısa bir süre içinde gerçekleşir. Öte yandan, paketlerdeki oksijen eksikliği, oksidasyon oluşumunu en aza indirebilir (Orkuz ve ark., 2017). Vakumlu paketleme, modifiye atmosfer paketleme ve oksijen geçirgen paketleme, çığ ve pişmiş et için kullanılan yaygın yöntemlerdir, ancak pişirilmiş et saklama sırasında oksidatif değişikliklere daha duyarlı olduğundan, vakumlu paketleme, pişmiş et için tercih edilen yöntemdir. Bununla birlikte, vakumlu paketleme bile oksijeni tamamen engelleyemez, çünkü paketleme malzemeleri de oksijen geçirgendir ve paketlenmiş ette bir miktar artık oksijen kalır (Huang ve Ahn, 2019). Oksijen geçirgen paketleme sıklıkla çığ etler için yaygın olsa da, vakumlu ve modifiye atmosfer paketleme daha uzun raf ömrü sağlar (McMillin, 2017). Tablo 1'de farklı et türlerine uygulanan depolama ve paketleme yöntemlerinin lipit oksidasyonuna etkisi verilmiştir.

#### İşleme teknikleri

Sodyum klorür et endüstrisindeki en önemli katkı maddelerinden biridir (Amaral ve ark., 2018). Tuz, gıdaların su aktivitesini azaltma kabiliyetinin doğrudan bir sonucu olarak koruyucu ve antimikrobiyal özelliklere sahiptir. Et ürünlerine tuz eklenmesi, su tutma kapasitesini iyileştirir ve ayrıca bazı enzim faaliyetlerini etkileyerek etin lezzetini artırır. Bununla birlikte, tuzun lipit oksidasyonunu hızlandırdığı ve et ve et ürünlerinin raf ömürlerini azaltan istenmeyen renk ve tat değişikliklerine neden olduğu da bildirilmektedir (Mariutti ve Bragagnolo, 2017). Bazı çalışmalar, tuzun çeşitli et türlerinde pro-oksidan olduğunu işaret ederken (Gheisari ve Motamedi, 2010; Gheisari ve ark., 2010; Jin ve ark., 2012), bazı çalışmalar tuzun etkisi olmadığını (Kong ve ark., 2008; Vara-Ubol ve Bowers, 2001; Sakai ve ark., 2006) ve hatta antioksidan etkileri olduğunu (Sakai ve ark., 2006) belirtmişlerdir. Tablo 1'de farklı et türlerine çeşitli konsantrasyonlarda eklenen tuzun lipit oksidasyonuna etkisi verilmiştir.

Sodyum klorürün pro-oksidan etkisinin olası mekanizmaları, oksitleyici ajanların lipit substratlara erişimini kolaylaştıran hücre zarı bütünlüğünü bozma kapasitesine; demir iyonlarını hem proteinler gibi demir içeren moleküllerden serbest bırakmasına veya katalaz, glutatyon peroksidaz ve süperoksit dismutaz gibi antioksidan enzimlerin aktivitesini inhibe etmesine atfedilir (Amaral ve ark., 2018; Mariutti ve Bragagnolo, 2017). Endojen antioksidan enzimler, özellikle katalaz ve glutatyon peroksidaz, depolanmış ette oksidasyonun başlamasını potansiyel olarak geciktirebilir. Gheisari, ve Motamedi'nin (2010) yaptığı çalışmada, lipit oksidasyonu ve glutatyon peroksidaz aktivitesi arasındaki negatif ilişki ile tuzlanmış ette hızlandırılmış lipit oksidasyonunun kısmen glutatyon peroksidaz aktivitesinde bir düşüşle ilişkili olabileceğini göstermiştir.

#### Hazırlama ve pişirme

Oksijen maruziyetinin, lipit oksidasyonu gelişimi için önemli faktörlerden biri olması nedeniyle, kesme, öğütme, kemik sıyırma ve pişirme gibi işlemler oksidatif bozulmanın gelişimini hızlandırabilir. Bu işlemlerde, membranların yırtılması sonucu fosfolipitlerin oksijene maruz kalması ve boyut küçültme ile temas yüzeyinin artması, lipit oksidasyonuna yol açan mekanizmalar olarak açıklanmıştır (Amaral ve ark., 2018). Kesme, öğütme ve doğrama etin yüzey alanını artırır. Pişirme birçok antioksidan enzimi etkisiz hale getirir. Ayrıca, tüm bu işlemler et lipitlerini oksijene ve katalizörlere maruz bırakır ve oksidatif değişiklikleri hızlandırır (Huang ve Ahn, 2019). Bununla birlikte pişirme sırasında oksijen bulunabilirliği kısıtlandığında pişmiş ette daha düşük MDA seviyeleri



gözlemlenebilmektedir. Sous-vide pişirme sırasında azalan oksijen mevcudiyeti, ikincil lipit oksidasyonunu sınırlayabilir (Ortuño ve ark., 2020).

Ette oksidasyon reaksiyonlarının gelişimi pişirme yöntemine, sıcaklığına ve süresine bağlıdır. Pişirme sırasında yüksek sıcaklık ette oksidasyon süreçlerinin artmasına neden olur (Broncano ve ark., 2009). Pişirme, fosfolipitleri oksijene maruz bırakmanın yanı sıra, hem-olmayan demirin hem pigmentlerden salınmasını da destekler. Yavaş ısıtmanın, hızlı ısıtmaya göre hem olmayan demirin salınımını daha hızlı arttırdığı gösterilmiştir (Amaral ve ark., 2018). Farklı pişirme yöntemleri ile lipit oksidasyonu gelişiminin incelendiği bir çalışmada fırında pişirme yönteminde uzun süre (20 dakika) ısı uygulanması, ızgara yönteminde daha kısa sürede (4 dakika) daha yüksek sıcaklık (190 °C) uygulamanın neden olduğu değişikliklere göre daha yüksek oksidasyon ürettiği bulunmuştur. Oksidasyonun, düşük sıcaklıkta uzun süre pişirmeden daha fazla etkilendiğini belirtmiştir (Broncano ve

ark., 2009). Tablo 1’de farklı et türlerine uygulanan pişirme yöntemlerinin lipit oksidasyonuna etkisi verilmiştir.

## 5. Sonuç

Besin ögesi içeriği ile dengeli beslenmenin önemli bir bileşeni olan et, yağ içeriği ve bileşimi nedeniyle lipit oksidasyonuna oldukça duyarlıdır. Lipit oksidasyonu, et ve et ürünlerinin duyu kalitesinin bozulması yanında sağlığa zararlı etkileri nedeniyle dikkate alınması gereken bir süreçtir. Lipit oksidasyon ürünleri çeşitli hastalıklarla ilişkili olan oksidatif stresi arttırmaktadır. Bu nedenle oksidatif stresi önlemek için lipit oksidasyonunun önlenmesi önemlidir. Lipit oksidasyonu ette depolama, paketleme, işleme, hazırlama ve pişirme aşamalarında uygulanan yöntem, süre ve sıcaklığa bağlı olarak oluşabilmektedir. Ette lipit oksidasyon mekanizmaları, oksidasyonun kontrolü için yeni yaklaşımlar geliştirmek ve mevcut yöntemleri iyileştirmek için daha fazla çalışmaya ihtiyaç vardır.

Tablo 1. Lipit Oksidasyonunu Etkileyen Faktörler

	Yöntem	Sonuç	Referans
<b>Lipit miktarı</b>			
Yağlı (%15) ve yağsız (%1) pişmiş sığır eti	In vitro sindirim	Yüksek yağlı sığır etinin sindirimi, az yağlı sığır etine kıyasla 11 kat daha yüksek MDA, 14 kat daha yüksek 4-HNE ve 8 kat daha yüksek HEX konsantrasyonları ile sonuçlanmıştır.	Van Hecke ve ark., 2016b
%1, %5 ve %20 yağlı domuz eti	In vitro sindirim	Yağ içeriği arttıkça MDA, 4-HNE ve HEX konsantrasyonları artmıştır.	Van Hecke ve ark., 2014
%2,3; %10 ve %14 yağlı pişmiş sığır eti	In vitro sindirim	Yağ içeriği ile aldehit oluşumu arasında pozitif bir ilişki olduğu ve düşük yağlı (% 2,3) sığır filetosunda yağlı (% 10-14) olanlara göre önemli ölçüde daha düşük MDA eşdeğerleri olduğu gösterilmiştir.	Steppeler ve ark., 2016
<b>Yağ asiti bileşimi, doymamışlık derecesi</b>			
Çiğ ve pişmiş sığır filetosu, domuz filetosu, tavuk göğüs eti ve tavuk but	3 ve 7 gün soğukta depolama	Pişmiş sığır filetosu ve tavuk but etinin TBARS değerleri, 7 günlük depolamadan sonra domuz filetosu ve tavuk göğüs etinden yaklaşık 2 kat daha fazla bulunmuştur. Çiğ tavuk but etindeki (2,44 g /100 g et) toplam PUFA miktarı, sığır filetosu, domuz filetosu ve tavuk göğüs etinden (sırasıyla 0,74, 0,72 ve 0,69 g /100 g et) daha yüksek bulunmuştur.	Min ve ark., 2008
Tavuk but ve göğüs eti	-7, -12 ve -18 °C; 6 ay soğuk depolama	Göğüs etinin peroksit değeri, but etinden daha yüksek bulunmuştur. But etinin lipit içeriği göğüs etinden daha yüksek olmasına rağmen, göğüs eti, but etine göre iki kat fazla fosfolipit içeriyordu. Göğüs etinde daha yüksek peroksit değeri, daha yüksek fosfolipit içeriğine bağlanmıştır.	Soyer ve ark., 2010
<b>Hem demir içeriği</b>			
Sığır filetosu, domuz filetosu, tavuk göğüs eti ve tavuk but	3 ve 7 gün soğuk depolama	3. ve 7. günlerde, sığır filetosunun TBARS değerleri, domuz filetosu, tavuk göğüs ve tavuk but etlerinden önemli ölçüde daha yüksek bulunmuş ve depolama sırasında çiğ etler arasında TBARS artışı, sığır filetosunda en yüksektir. Çiğ domuz filetosu, tavuk göğüs ve tavuk but etinin TBARS değerleri, önemli ölçüde artmamıştır.	Min ve ark., 2008
Çiğ ve pişmiş tavuk göğüsü ve sığır filetosu	Etlere NaCl, NaCl + miyogloblin, NaCl + Fe (II) veya NaCl + Fe (III) ilaveleri yapıldı	NaCl + Mb ilavesi, çiğ tavuk göğüs etinde lipit oksidasyonunu etkilemedi, ancak saklama sırasında sığır filetosu TBARS değerini düşürmüştür. NaCl+Fe (III) veya NaCl+Fe (II) ilavesi, depolama sırasında hem çiğ tavuk göğüsü hem de sığır filetosunun TBARS değerlerini artırmıştır. NaCl ilavesi ve pişirme, miyoglobinde ciddi bozulmaya neden olarak sığır filetosundaki serbest iyonik demirde önemli bir artışa yol açmıştır.	Min ve ark., 2010
Sığır etinin Longissimus	9 günlük depolama	Longissimus Dorsi kasta, hem demir konsantrasyonu lipit oksidasyonu ile orta derecede bir korelasyon göstermiştir. Aynı kastaki non hem demir, lipit oksidasyonu ile zayıf bir şekilde korelasyon	Purohit ve ark., 2015

dorsi ve Psoas major kasları		göstermiştir. Psoas Major'de hem demiri, lipit oksidasyonu ile güçlü bir şekilde ilişkili bulunmuştur. Aynı kasta non hem demir, lipit oksidasyonu ile zayıf bir korelasyon göstermiştir.	
Çiğ tavuk ve sığır eti, 3 hafta soğuk depolama	Metmyoglobin (MetMb) (doğal kas içeriğindeki iki katı) ilavesi	Hem pigmenti ve lipit oksidasyon indeksleri, sığır etinde tavuktan daha yüksek bulunmuştur. MetMb ilavesinin tavuk eti ve sığır etinde lipit oksidasyonu üzerinde artırıcı bir etkisi olmamıştır.	Gheisari ve ark., 2010
<b>Depolama koşulları</b>			
<b>Süre ve sıcaklık</b>			
Tavuk göğüs ve but eti	-7, -12 ve -18 °C; 6 ay soğuk depolama	MDA konsantrasyonu 2. aya kadar hızlı, daha sonra yavaş artmıştır. 6. ayda başlangıca göre but etinde 3 kat, göğüs etinde 2,5 kat artmıştır. Farklı sıcaklıkların MDA konsantrasyonu üzerine etkisi olmamıştır.	Soyer ve ark., 2010
Kuzu eti	-12 ve -18 C; 8 hafta dondurma	Depolama süresi arttıkça TBARS düzeylerinin arttığı gözlenmiştir. Sıcaklığın etkisi anlamlı bulunmamıştır.	Coombs ve ark., 2018
Kuzu eti	21 ay dondurulmuş saklama	Depolama süresi arttıkça lipit oksidasyonunun arttığı gözlenmiştir.	Muela ve ark., 2015
Tavşan eti	+4, -4, -12, -18 °C soğuk depolama	Değerlendirme dönemlerinde tüm numuneler için TBARS değerleri saklama süresi ile artmış ve 4 °C'de saklanan numuneler diğer grup numunelere göre daha yüksek oranda artış göstermiştir.	Wang ve ark., 2020
<b>Paketleme ve oksijen</b>			
Kaz eti	Modifiye atmosfer ve vakum paketleme ile 11 gün	Hem modifiye atmosferde hem de vakumda paketlenen numuneler için depolamanın 11 günü içinde TBARS değerlerinde artış olmuştur. Paketlenmemiş örneklerle karşılaştırıldığında TBARS değerleri modifiye atmosfer için %260,47 ve vakum için %18,60 artmıştır.	Orkuzs ve ark., 2017
Dana kıyma	(1)Yüksek oksijenli modifiye atmosfer, (2)karbon monoksit modifiye atmosfer, (3)vakum paketleme ve (4)aerobik paketleme ile 3 gün depolama	Paketleme, köftelerde lipit oksidasyonunu etkilemiştir. Vakum paketlemede 1. günde diğer yöntemlere göre daha düşük TBARS gözlenmiştir. Üçüncü günde yüksek oksijenli modifiye atmosfer paketleme ve aerobik paketlemede TBARS artarken, karbon monoksit modifiye atmosfer, vakum paketlemede depolama sırasında değişiklik gözlenmemiştir.	Suman ve ark., 2010
<b>İşleme teknikleri</b>			
Sığır, deve ve tavuk göğüs eti	NaCl ve KCl ilavesi ile 4 °C'de 4 günlük depolama	Depolama sırasında TBARS ve peroksit değerleri artmış ve glutatyon peroksidaz aktivitesi azalmıştır, ancak katalaz aktivitesi stabildir. Tuz tipinin enzim aktiviteleri üzerinde tutarlı bir etkisi bulunmamıştır.	Gheisari, ve Motamedi, 2010
Sığır ve tavuk eti	% 0, % 1 ve % 6 Na Cl ilavesi ile 3 hafta soğuk depolama	Peroksit değeri ve TBARS, hem tavuk eti hem de sığır etinde depolamada önemli ölçüde artmıştır. %6 tuz ilaveli grup, her iki türde de en yüksek TBARS ve peroksit değerine sahip bulunmuştur.	Gheisari ve ark., 2010
Domuz eti	% 0,5,% 1,0,% 2,0,% 3,0 veya% 4,0 NaCl; 7 gün depolama	NaCl, önemli pro-oksidan etki göstermiştir. Tuz eklenmeyen kontrol örneğine göre tüm konsantrasyonlarda daha yüksek TBARS düzeyi gözlenmiş ve konsantrasyon arttıkça TBARS düzeyi yükselmiştir.	Jin ve ark., 2012
Levrek fileto	tuzsuz, tuzlu su ile tuzlanmış veya kuru tuzlanmış levrek filetolarının in vitro sindirim	Sindirim öncesinde yöntemlerin hiçbirinde lipit oksidasyonu tetiklenmemiştir. Sindirim sonrasında, tuzun yoğunluğuna bakılmaksızın, tuzlamanın balıkta lipit oksidasyonunun artmasına neden olabileceği görülmüştür. Bununla birlikte, kuru tuzlama yapılan balık, diğerlerine göre in vitro sindirim sırasında en yüksek oranda oksidasyona uğramıştır.	Nieva-Echevarría ve ark., 2017
Somon fileto	Tuz ilavesiz ve %1,5 tuz ilave edilerek pişirme	Tuz ilavesinin lipit oksidasyonuna etkisi anlamlı bulunmamıştır.	Kong ve ark., 2008
Hindi ve domuz eti	% 1 NaCl ilavesi ile kıyma haline getirme, pişirme, depolama	Tuzun (% 1 NaCl) kıyma haline getirilmiş, pişirilmiş, depolanmış, hindi ve domuz etinde lipit oksidasyonu üzerinde önemli bir etkisi bulunmamıştır.	Vara-Ubolve Bowers, 2001
Domuz eti	Tuz ilavesiz, %1 ve %2 tuz ilaveli, 0 °C'de 3 gün saklama	Heksanal ve malondialdehit içeriği haşlama ile değişmemiştir. Depolama sonunda tuz içeren etin heksanal değeri değişmezken tuz içermeyen etin artmıştır. Çiğ etin aksine haşlanmış ette tuz ilavesi heksanal oluşumunu önlemiştir. Depolama süresi boyunca tuz ilave edilen ve edilmeyen et arasında MDA açısından fark görülmemiştir. Çiğ etin aksine haşlanmış ette tuz ilavesi pro-oksidan görevi görmemiştir.	Sakai ve ark., 2006

Hazırlama ve pişirme			
Sığır eti	Haşlama, mikrodalga, ızgara pişirme	Sığır etindeki TBARS artışı, diğer pişirme yöntemleri ve çığ et ile karşılaştırıldığında sadece haşlama yönteminde artmıştır.	Alfaia ve ark., 2010
Domuz eti	Izgara, mikrodalga, kızartma, fırında pişirme yöntemleri	En yüksek oksidasyon seviyesi kavrulmuş ve kızartılmış ette bulunmuş, bunları mikrodalga ve ızgara takip etmiştir. Izgara yöntemi diğerlerine göre lipid oksidasyonundan en az etkilenen yöntem olmuştur.	Broncano ve ark., 2009
Kuzu eti	Izgara (150 °C) ve sous-vide (75 °C)	Sous-vide pişirme yönteminde ızgara yöntemine göre daha düşük MDA oluşmuştur.	Ortuño ve ark., 2020
Tavşan eti	Fırında pişirme (180 °C, 1 sa), sous-vide (72,5 °C, 2,5 sa) ve haşlama (100 °C, 20 dk)	Çığ ete göre fırınlanmış, sous-vide ve haşlanmış ette sırasıyla yaklaşık 13, 7,5 ve 6 kat daha yüksek peroksit değeri bulunmuştur.	Rasinska ve ark., 2019
Balık fileto	Haşlama (98 °C, 12 dk), fırında (250 °C, 20 dk), mikrodalga (güç 10, 2 dk), ızgara (350 °C, 10 dk), soya yağı, kanola yağı ve hidrojene bitkisel yağda kızartma (215-220 °C)	En yüksek MDA artışı mikrodalga ve fırın olmak üzere, haşlama, mikrodalga ve fırında pişirme yöntemlerinde artış görülmüştür. Izgara ve kızartma yöntemlerinde artış anlamlı bulunmamıştır.	Weber ve ark., 2008

## Kaynakça

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

Alfaia, C. M., Alves, S. P., Lopes, A. F., Fernandes, M. J., Costa, A. S., Fontes, C. M., ... & Prates, J. A. (2010). Effect of cooking methods on fatty acids, conjugated isomers of linoleic acid and nutritional quality of beef intramuscular fat. *Meat Science*, 84(4), 769-777.

Amaral, A. B., Silva, M. V. D., & Lannes, S. C. D. S. (2018). Lipid oxidation in meat: mechanisms and protective factors—a review. *Food Science and Technology*, 38, 1-15.

Angeli, J.P.F.; Garcia, C.C.M.; Sena, F.; Freitas, F.P.; Miyamoto, S.; Medeiros, M.H.G.; Di Mascio, P. Lipid hydroperoxide-induced and hemoglobin-enhanced oxidative damage to colon cancer cells. *Free Radic. Biol. Med.* 2011, 51, 503–515.

Barden, L., & Decker, E. A. (2016). Lipid oxidation in low-moisture food: a review. *Critical reviews in food science and nutrition*, 56(15), 2467-2482.

Barriuso, B., Astiasarán, I., & Ansorena, D. (2013). A review of analytical methods measuring lipid oxidation status in foods: a challenging task. *European food research and technology*, 236(1), 1-15.

Broncano, J. M., Petró, M. J., Parra, V., & Timón, M. L. (2009). Effect of different cooking methods on lipid oxidation and formation of free cholesterol oxidation products (COPs) in *Latissimus dorsi* muscle of Iberian pigs. *Meat science*, 83(3), 431-437.

Coombs, C. E., Holman, B. W., Ponnampalam, E. N., Morris, S., Friend, M. A., & Hopkins, D. L. (2018). Effects of chilled and frozen storage conditions on the lamb *M. longissimus lumborum* fatty acid and lipid oxidation parameters. *Meat science*, 136, 116-122.

Domínguez, R., Pateiro, M., Gagaoua, M., Barba, F. J., Zhang, W., & Lorenzo, J. M. (2019). A comprehensive review on lipid oxidation in meat and meat products. *Antioxidants*, 8(10), 429.

Faustman, C., Sun, Q., Mancini, R., & Suman, S. P. (2010). Myoglobin and lipid oxidation interactions: Mechanistic bases and control. *Meat science*, 86(1), 86-94.

Gheisari, H. R., Møller, J. K., Adamsen, C. E., & Skibsted, L. H. (2010). Sodium chloride or heme protein induced lipid oxidation in raw, minced chicken meat and beef. *Czech Journal of Food Sciences*, 28(5), 364-375.

Gheisari, H. R., & Motamedi, H. (2010). Chloride salt type/ionic strength and refrigeration effects on antioxidant enzymes and lipid oxidation in cattle, camel and chicken meat. *Meat science*, 86(2), 377-383.

Guyon, C., Meynier, A., & de Lamballerie, M. (2016). Protein and lipid oxidation in meat: A review with emphasis on high-pressure treatments. *Trends in Food Science & Technology*, 50, 131-143.

Huang, X., & Ahn, D. U. (2019). Lipid oxidation and its implications to meat quality and human health. *Food science and biotechnology*, 28(5), 1275-1285.

Jin, G., He, L., Zhang, J., Yu, X., Wang, J., & Huang, F. (2012). Effects of temperature and NaCl percentage on lipid oxidation in pork muscle and exploration of the controlling method using response surface methodology (RSM). *Food Chemistry*, 131(3), 817-825.

Kanner, J. Dietary advanced lipid oxidation endproducts are risk factors to human health. *Mol. Nutr. Food Res.* 2007, 51, 1094–1101.

Kong, F., Oliveira, A., Tang, J., Rasco, B., & Crapo, C. (2008). Salt effect on heat-induced physical and chemical changes of salmon fillet (*O. gorbusha*). *Food Chemistry*, 106(3), 957-966.

Králová, M. (2015). The effect of lipid oxidation on the quality of meat and meat products. *Maso Int. J. Food Sci. Technol*, 2, 125-132.

Macho-González, A., Garcimartín, A., López-Oliva, M. E., Bastida, S., Benedí, J., Ros, G., ... & Sánchez-Muniz, F. J. (2020). Can Meat and Meat-Products Induce Oxidative Stress?. *Antioxidants*, 9(7), 638.

Mariutti LRB, Bragagnolo N. (2017). Influence of salt on lipid oxidation in meat and seafood products: a review. *Food Res. Int.* 94: 90–100

- McMillin, K. W. (2017). Advancements in meat packaging. *Meat science*, 132, 153-162.
- Min, B., & Ahn, D. U. (2005). Mechanism of lipid peroxidation in meat and meat products-A review. *Food Science and Biotechnology*, 14(1), 152-163.
- Min, B., Nam, K. C., Cordray, J., & Ahn, D. U. (2008). Endogenous factors affecting oxidative stability of beef loin, pork loin, and chicken breast and thigh meats. *Journal of Food Science*, 73(6), C439-C446.
- Min, B., Cordray, J. C., & Ahn, D. U. (2010). Effect of NaCl, myoglobin, Fe (II), and Fe (III) on lipid oxidation of raw and cooked chicken breast and beef loin. *Journal of agricultural and food chemistry*, 58(1), 600-605.
- Muela, E., Monge, P., Sañudo, C., Campo, M. M., & Beltrán, J. A. (2015). Meat quality of lamb frozen stored up to 21 months: Instrumental analyses on thawed meat during display. *Meat science*, 102, 35-40.
- Nieva-Echevarría, B., Goicoechea, E., Manzanos, M. J., & Guillén, M. D. (2017). Fish in vitro digestion: influence of fish salting on the extent of lipolysis, oxidation, and other reactions. *Journal of agricultural and food chemistry*, 65(4), 879-891.
- Orkusz, A., Haraf, G., Okruszek, A., & Wereńska-Sudnik, M. (2017). Lipid oxidation and color changes of goose meat stored under vacuum and modified atmosphere conditions. *Poultry science*, 96(3), 731-737.
- Ortuño, J., Mateo, L., Rodríguez-Estrada, M. T., & Bañón, S. (2020). Effects of sous vide vs grilling methods on lamb meat colour and lipid stability during cooking and heated display. *Meat Science*, 171, 108287.
- Papuc, C.; Goran, G.V.; Predescu, C.N.; Nicorescu, V. Mechanisms of oxidative processes in meat and toxicity induced by postprandial degradation products: A review. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* 2017, 16, 96–123.
- Pereira, P. M. D. C. C., & Vicente, A. F. D. R. B. (2013). Meat nutritional composition and nutritive role in the human diet. *Meat science*, 93(3), 586-592.
- Purohit, A., Singh, R., Kerr, W., & Mohan, A. (2015). Effects of heme and nonheme iron on meat quality characteristics during retail display and storage. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 9(2), 175-185.
- Rasinska, E., Rutkowska, J., Czarniecka-Skubina, E., & Tambor, K. (2019). Effects of cooking methods on changes in fatty acids contents, lipid oxidation and volatile compounds of rabbit meat. *LWT*, 110, 64-70.
- Ross, C.F.; Smith, D.M. Use of volatiles as indicators of lipid oxidation in muscle foods. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* 2006, 5, 18–25.
- Sakai, T., Shimizu, Y., & Kawahara, S. (2006). Effect of NaCl on the lipid peroxidation-derived aldehyde, 4-hydroxy-2-nonenal, formation in boiled pork. *Bioscience, biotechnology, and biochemistry*, 70(4), 815-820.
- Scollan, N. D., Price, E. M., Morgan, S. A., Huws, S. A., & Shingfield, K. J. (2017). Can we improve the nutritional quality of meat?. *Proceedings of the Nutrition Society*, 76(4), 603-618.
- Soyer, A., Özalp, B., Dalmış, Ü., & Bilgin, V. (2010). Effects of freezing temperature and duration of frozen storage on lipid and protein oxidation in chicken meat. *Food chemistry*, 120(4), 1025-1030.
- Steppeler, C., Haugen, J. E., Rødbotten, R., & Kirkhus, B. (2016). Formation of malondialdehyde, 4-hydroxynonenal, and 4-hydroxyhexenal during in vitro digestion of cooked beef, pork, chicken, and salmon. *Journal of agricultural and food chemistry*, 64(2), 487-496.
- Suman, S. P., Mancini, R. A., Joseph, P., Ramanathan, R., Konda, M. K. R., Dady, G., & Yin, S. (2010). Packaging-specific influence of chitosan on color stability and lipid oxidation in refrigerated ground beef. *Meat Science*, 86(4), 994-998.
- Van Hecke, T., Vossen, E., Bussche, J. V., Raes, K., Vanhaecke, L., & De Smet, S. (2014). Fat content and nitrite-curing influence the formation of oxidation products and NOC-specific DNA adducts during in vitro digestion of meat. *PLoS One*, 9(6), e101122.
- Van Hecke, T., Wouters, A., Rombouts, C., Izzati, T., Berardo, A., Vossen, E., ... & De Smet, S. (2016b). Reducing compounds equivocally influence oxidation during digestion of a high-fat beef product, which promotes cytotoxicity in colorectal carcinoma cell lines. *Journal of agricultural and food chemistry*, 64(7), 1600-1609.
- Van Hecke, T.; Jakobsen, L.M.; Vossen, E.; Guéraud, F.; De Vos, F.; Pierre, F.; Bertram, H.C.; De Smet, S. Short-term beef consumption promotes systemic oxidative stress, TMAO formation and inflammation in rats, and dietary fat content modulates these effects. *Food Funct.* 2016, 7, 3760–3771.
- Vara-Ubol, S., & Bowers, J. A. (2001). Effect of  $\alpha$ -tocopherol,  $\beta$ -carotene, and sodium tripolyphosphate on lipid oxidation of refrigerated, cooked ground turkey and ground pork. *Journal of food science*, 66(5), 662-667.
- Wang, Z., He, Z., Zhang, D., Li, H., & Wang, Z. (2020). Using oxidation kinetic models to predict the quality indices of rabbit meat under different storage temperatures. *Meat science*, 162, 108042.
- Weber, J., Bochi, V. C., Ribeiro, C. P., Victório, A. D. M., & Emanuelli, T. (2008). Effect of different cooking methods on the oxidation, proximate and fatty acid composition of silver catfish (*Rhamdia quelen*) fillets. *Food Chemistry*, 106(1), 140-146.



# A Hybrid Algorithm for Changepoint Aware Long-Term Seasonality Detection of Mobile Network Base Stations

Y. Tarık Kranda<sup>1</sup>, Ruya Samli<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Istanbul University-Cerrahpasa, Faculty of Engineering, Department of Computer Engineering, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0002-5291-2277), [ykranda@ogr.iu.edu.tr](mailto:ykranda@ogr.iu.edu.tr)

<sup>2\*</sup> Istanbul University-Cerrahpasa, Faculty of Engineering, Department of Computer Engineering, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0002-8723-1228), [ruyasamli@iuc.edu.tr](mailto:ruyasamli@iuc.edu.tr)

(First received 1 May 2021 and in final form 12 September 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.931099)

**ATIF/REFERENCE:** Kranda, Y. T. & Samli, R. (2021). A Hybrid Algorithm for Changepoint Aware Long-Term Seasonality Detection of Mobile Network Base Stations. *European Journal of Science and Technology*, (27), 370-385.

## Abstract

Automated capacity planning for mobile networks requires long-term forecasting of traffic demand by using historical patterns. To decide the correct time of investment and correct capacity expansion size or to improve the accuracy of forecasting algorithms with exogenous features, both seasonal decomposition, and seasonal period identification improves decision accuracy. We design a hybrid algorithm to calculate these features on live network data with improved accuracy which uses piecewise Seasonality Trend Decomposition with Loess (STL) decomposition and Prophet library's regression with Laplace prior under the hood. Combining both methods with the awareness of their weak and strong parts and leveraging overall output with changepoint and similarity analysis help us to improve our accuracy around 18.6% comparing the average of single usage of these methods. We also provide and present some special cases that increase problem complexity and decrease decomposition accuracy.

**Keywords:** Mobile Network Seasonality Detection, Changepoint Awareness, Network Capacity Planning, Piece-wise Regression, Time Series Decomposition

## Mobil Ağ Baz İstasyonlarının Değişim Noktalarının Uzun Dönem Sezonsallık Tespiti için Hibrid Bir Algoritma

### Öz

Mobil ağlar için otomatik kapasite planlaması, geçmiş kalıpları kullanarak trafik talebinin uzun vadeli tahminini gerektirir. Doğru yatırım zamanına, doğru kapasite genişletme boyutuna karar vermede veya dışsal etkilere sahip tahmin algoritmalarının doğruluğunu iyileştirmede hem mevsimsel ayrıştırma hem de mevsimsel dönem tanımlama işlemleri karar doğruluğunu artırır. Bu çalışmada bu işlemleri, altyapısında parçalı Loess ile Mevsimsel Trend Ayrışımı (Seasonality Trend Decomposition with Loess – STL) ayrıştırması ve Prophet Kütüphanesi'nin Laplace önsele sahip regresyon yaklaşımını kullanan ve canlı ağ örnekleri üzerinde daha yüksek doğrulukla gerçekleştiren hibrid bir algoritma tasarlanmıştır. Her iki yöntemi de zayıf ve güçlü parçalarının farkındalığıyla birleştirmek ve değişim noktalarının benzerlik analizi ile tespit edilmesi üzerine geliştirilen çözüm, bu yöntemlerin tek başlarına elde ettiği ortalama başarıyı yaklaşık %18,6 oranında artırmaktadır. Ayrıca çalışma kapsamında, problemin karmaşıklığını artıran ve ayrıştırma doğruluğunu azaltan bazı özel durumlar da sunulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Mobil Ağ Sezonsallık Tespiti, Değişim Noktası Farkındalığı, Mobil Ağ Kapasite Planlama, Parçalı Regresyon Analizi, Zaman Serisi Bileşenlerine Ayırma

# 1. Introduction

Many industries are turned into digitalized processes so the number of mobile internet users is rapidly growing in recent years. This is followed by the growing demand for Machine-to-Machine (M2M) communication and Internet of Things (IoT) transformation for businesses and individuals. Global Covid-19 pandemic effect is another acceleration source for the growing demand for digitalized businesses and relevant mobile application usage. Every single day new internet services and applications are deployed, so the load to be managed by Mobile Network Operators (MNO) is increasing. Regarding GSM Association (GSMA) Intelligence Mobile Economy Research Report, by the year 2025, there will be 1.2 billion new subscribers being served by mobile networks (GSMA, 2020). The ratio of mobile subscribers over the regional population is depicted in Figure 1.

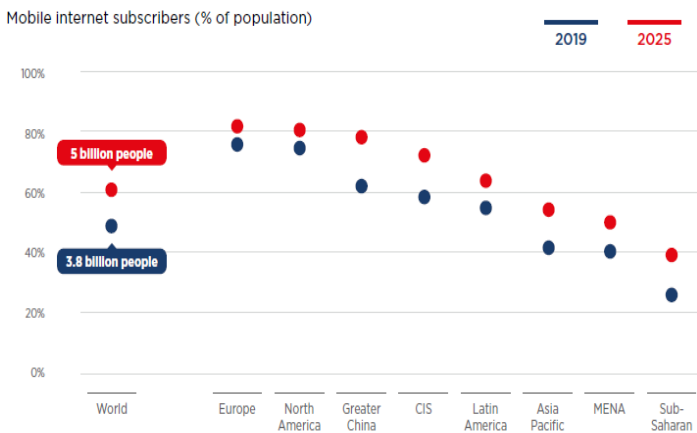


Figure 1. Mobile internet subscriber's percentage of population by 2025 (GSMA Intelligence, 2020)

The variety of services corresponds to a different amount of traffic generation on the network, and each has different customer experience requirements. Throughput-sensitive applications such as video streaming or latency-centric applications such as online gaming which are served through the same mobile base stations exist. Variance on multiple services and their customer expectation increases the complexity of the mobile network capacity planning process which is aimed to make correct investments at the correct time to manage the balance between Capital Expenditure (CAPEX) and Return-on-Investment (ROI). As depicted in Figure 2, the second-highest response of MNOs for infrastructure renewal and network transformation decisions is improving customer experience (GSMA, 2020). One another key point of this research worth mentioning is also declining CAPEX as much as possible to keep MNOs profitable.

All these increasing demands, smart ROI management pressure, improving customer experience requirements to decrease churn threat push MNOs to digitalize their internal services and make data-centric intelligent decisions. In MNO organizations, there are regional and central network investment planning teams who are in charge of capacity investment decisions by considering all the above dimensions. A generalized regular process of network capacity planning lifecycle is shown in Figure 3. The number of consumed data sources is increasing over time in the process. To digitalize decision process with more data-centric approach, all process is being softwarized to rely on data analysis and demand forecasting. Similar to all data-oriented solutions, the process starts with data collection operations which

consume data from multiple data sources. The most commonly utilized data source is Element Management Systems (EMS) logs which provide performance counters to calculate Key Performance Indicators (KPI) about resource utilization statistics. For instance, the number of users connected to Base Station (BS), carried amount of traffic in Megabytes, Physical Resource Block (PRB) utilization for LTE cells, and so on. All these statistics are labeled with timestamps that indicate certain time intervals (i.e., every 5, 15, 30, or 60 minutes). Besides network KPIs, there are some other data sources to utilize for improved investment accuracy such as geolocated customer complaints from Customer Relationship Management (CRM) systems, crowd-sourced quality samples collected from subscriber User Equipment (UE), signal propagation modeling tool exports (binned coverage signal levels), transport layer statistics and so on. It is common to use EMS-generated KPIs to use for traffic forecasting. High-quality forecasting for traffic and demand requires some preprocessing operations such as data cleaning, missing data imputation, anomaly healing, and daily or weekly aggregation of data for long-term regressions.

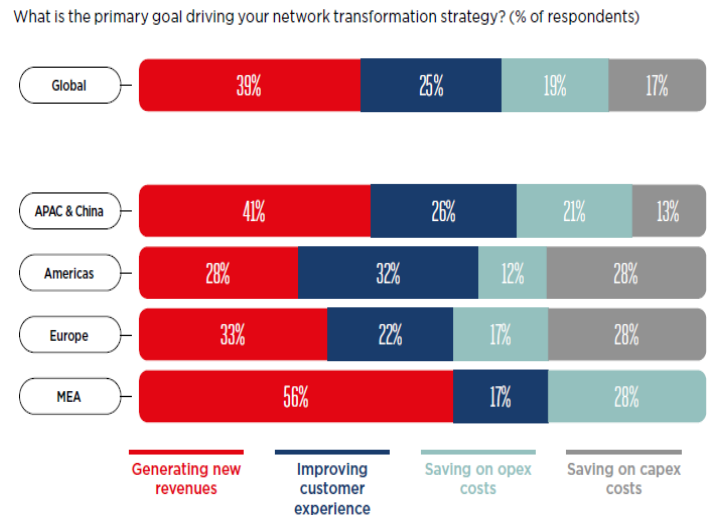


Figure 2. The primary goal driving MNOs' network transformation strategy (GSMA Intelligence, 2020)

Multiple key factors affect the overall forecasting and inherently investment decision accuracy. These factors are listed as the quality of data, having enough data to cover targeted seasonality search, being aware of change points when identifying seasonal factors, impacts of special days, and so on. In concise, it is significant to understand features of time series data and decompose it correctly. MNO policies and business rules are applied on forecasted traffic and other utilization KPIs and it is followed with investment suggestions. At the last phase of the lifecycle, all suggestions are evaluated regarding to pre-defined constraints and orchestrated. Conflicting suggestions which may be impacting each other in low distances are resolved concerning MNO policies and priorities. The distilled suggestion list is applied at investment periods sorted by ROI.

Detecting the seasonality impact of base stations regardless of change points in their history improves the accuracy of investment suggestion decisions. Especially, identifying the locations which can be compensated with temporary mobile cells, baseband units, and accumulators in small buses makes more saving than perpetual investment.

## Mobile Network Capacity Planning Lifecycle

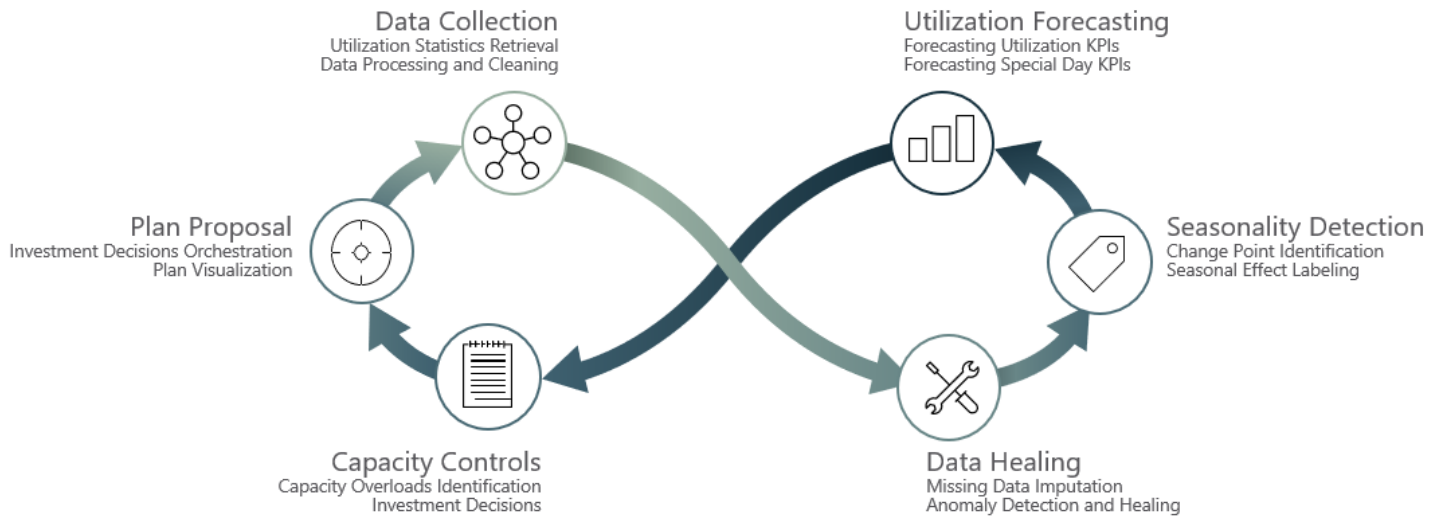


Figure 3. Mobile network capacity planning lifecycle

Finding the correct time of investment on high seasonal base stations for some sectoral capacity expansion is also another cost-saving factor for MNOs. Hence, they make expansions to correct base stations at the correct time to preserve customer experience. Unnecessary investment causes another cumbersome cost on the environment as well due to carbon footprint increment. Managing the capacity of a location with the correct number of stations decreases MNO's carbon footprint and saves energy. Centralized energy saving algorithms are also required to be aware of high season start-end dates for their predictive accuracy.

In this study, we process real network daily traffic data and develop a new hybrid solution to identify long-term seasonality impact over base stations. After this process, we design an algorithm for seasonality detection and decomposition of mobile network base station traffic data to extract seasonality impact on base stations by considering changepoint existence due to level shift or exponential trend increase. The algorithm consists of built-in changepoint search, change ratio analysis, and similarity controls mechanisms inside. It can calculate multiplicative seasonal factors by using two-years historical traffic data. Labeling base stations with decomposed seasonality impact helps to forecast algorithms as new features when predicting next year's traffic demand. We compare our results with 100 base stations with two years of historical data taken from a European Tier-1 operator. The dataset consists of 4119 base stations' data; 150 of them are labeled by three Subject Matter Experts (SMEs) from central planning teams, 100 of them are used as the test set to benchmark the proposed solution with pure Prophet library-based decomposition and STL solution. We introduce our dataset, distribution of base station characteristics and share our algorithm results with benchmarking. It is critical for the mobile network capacity planning lifecycle to have both these capabilities (being aware of changepoints and identifying seasonality impact on a base station) unified as one solution to be able to develop a software-oriented planning approach. So, the solution would be able to work as an unsupervised solution with offline analysis and learning capabilities on historical data. The outputs of algorithms (seasonal labeling of base stations and percentage-based amount of seasonal impact) can be supplied into forecasting algorithms including Neural Networks (NN) or Machine Learning (ML)

based solutions or to rule-based network management policy applications. To the best of our knowledge, there are no other studies focused on long-term changepoint aware seasonality labeling of mobile base stations and tested with real network data under the supervision of SMEs.

The rest of the study is as follows. In Section 2, related works about the subject of the study are given. In Section 3, materials and methods used in this study are presented. In Section 4, experimental results are analyzed and discussed and finally the study is concluded in Section 5.

## 2. Related Works

Time series is a sequence of observations labeled with a timestamp as data points in successive order. Each time series has some characteristic features as dependent on the nature of the stochastic process that generates its observations. Time series may contain multiple seasonal cycles for different periods. For example, the hourly utility demand data exhibits both daily and weekly cycles (Gould et al., 2008). In the characteristics of base station traffic time series, it is common to see multiple seasonal components such as weekly, monthly, and yearly seasonality which means non-stationarity as it is analyzed in the "rationalization section" the study by Yu et al. (2010). Same patterns exist in our dataset as well, but for capacity planning, we focus on long-term, low-frequency seasonal components which are yearly seasonality. Mobile network traffic can be decomposed into multiple components in additive or multiplicative form as classical decomposition methods. It is formulated by Lakshmanan & Das (2017) such that time series  $Y$  to be modeled or forecast is viewed as (1) depending on additive or multiplicative model, where  $T$  represents the trend or the long-term direction,  $S$  represents the seasonality or a pattern which repeats periodicity and  $\epsilon$  represents the random error and i.i.d (independent and identically distributed)

$$Y = T + S + \epsilon \quad \text{or} \quad (1)$$

$$Y = T \cdot S \cdot \epsilon$$

It can also be represented as low frequency and higher frequency elements as given by (2), where the trend component is low-frequency changes and seasonality is addressed as higher frequency changes.

$$Y = Y_{low} + S_{high} + \epsilon \quad \text{or} \quad (2)$$

$$Y = Y_{low} \times S_{high} \times \epsilon$$

Anomalies such as outliers and level shifts are quite common in time-series data. The presence of outliers and level shifts (change-points) poses problems for the identification and estimation of Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA) models (Balke, 1993). In this study, we define our algorithm based on multiplicative decomposition as in (1). We complete many empirical analyses for two years of historical data and observed multiplicative seasonality characteristics in the traffic data. Since the mobile network traffic is highly non-stationary due seasonal characteristics besides change-points, an algorithm to reveal seasonal impact in mobile traffic is required to consider both change-points and seasonal movements together. At the inner sections of our algorithm, we apply log-transformation to turn our multiplicative characteristics into additive ones for easier calculations and evaluation for change-points existence controls.

In this section, we analyze some previous studies about change-points detection as a subset of anomaly detection and seasonality decomposition algorithms. The unique output of our algorithm is to find a satisfactory algorithm, working on live mobile network historical data as an offline and batch solution. The algorithm should be successful at detecting seasonal impact on base station traffic even if it includes change-point in its history. There are studies about change-points detection and seasonality detection separately on other domains and have not combined together for investigating mobile network traffic. It is beneficial for healthy forecasting of mobile traffic demand and accuracy of capacity investment decisions because many base stations have change-points due dynamism of mobile networks. For instance, a newly deployed base station is open to steal traffic from existing neighbor base stations or Covid-19 pandemic quarantine alerts may cause unexpected level shifts in specific regions like business areas or leisure locations. We observe similar behavior in our dataset and implement an algorithm that combines piece-wise Bayesian regression-based change points distribution analysis, similarity search, and flexible STL decomposition.

### 2.1. Change-points Detection

Change-points are statistical changes of the probability distribution on the output of stochastic processes. Let  $X = \{X_t, t = 1, \dots, T\}$  be the series of observed traffic volume samples, then if we say null hypothesis given by (3) is no change in the traffic, the alternative hypothesis given by (4) would be a change points existence at point  $k$  (Chen & Zhang, 2015).

$$H_0: P_{X_1} = P_{X_2} = \dots = P_{X_n} \quad (3)$$

where  $\{1, \dots, n\}$  are intervals of  $X_t$  series and  $P_{X_n}$  is the probabilistic density function of interval  $n$ .

$$H_1: \exists 1 \leq k < n, \begin{cases} P_{X_k}, & 1 \leq k \\ P_{X_n}, & k < n \end{cases} P_{X_k} \neq P_{X_n} \quad (4)$$

Multiple studies address change-point detection or anomaly detection algorithms on time series data to identify unexpected changes in series. Some of them are listed in the study of Aminikhanghahi & Cook, (2017). Change-point detection algorithms are categorized into several categories mainly as online and offline algorithms. Online algorithms run concurrently with the process they are monitoring, processing each data point as it becomes available, and as a real-time solution, processing should be completed before the next data point arrives. On the other hand, offline algorithms analyze the entire data set at once, and there is no real-time decision during the run-time period (Downey, 2008). There are also other categories of change-point detection algorithms such as univariate, multivariate, model-based, non-parametric as listed by Burg & Williams (2020). One of the initial approaches is the Cumulative Sum Control (CUSUM) chart method which is widely used and proposed by Page (1954). It is to detect a change in the mean of the distribution as a weighted sum of last  $k$  observations. It considers the change of cumulative sum to be over a threshold. There are multiple derivatives of the CUSUM algorithm where one of them is an intuitive approach which has the typical behavior of the log-likelihood ratio  $S_k$  given by (5) and  $s_i$  given by (6) showing a negative drift before change-point, and a positive drift after change-point. It is visualized in Figure 4.

Let null hypothesis  $H_0: \theta = \theta_0$  and alternative hypothesis  $H_1: \theta = \theta_1$ , then

$$S_j^k = \sum_{i=j}^k s_i \quad (5)$$

$$s_i = \ln \frac{P_{\theta_1}(y_i)}{P_{\theta_0}(y_i)} \quad (6)$$

be the log-likelihood ratio for the observations from  $y_j$  to  $y_k$ .

There are some other approaches which are constructed over likelihood ratio with binary segmentation. Scott and Knott (1974) studied the consequences of using a well-known method of cluster analysis to partition the sample treatment means in a balanced design. They showed how a corresponding likelihood ratio test gives a method of judging the significance of the differences among groups obtained.

Probabilistic methods are used for change-point detection as well by segmenting time series and generating probability outputs of each segment for change-point existence. Downey proposed an algorithm with Bayesian approach in which the kernel of the algorithm is a system of equations that computes, for each index  $i$ , the probability that the last (most recent) change-point occurred at  $i$ . He evaluates this algorithm by applying it to the change-point detection problem and compares it to the Generalized Likelihood Ratio (GLR) algorithm (Downey, 2008). It is also mentioned in the Downey's research that a special type of change-point problem which is tracking. The goal of the tracking problem is to partition a time series into stationary intervals and estimate the parameters



of the process in each interval. A simple approach is to use hypothesis testing to detect a changepoint, estimate the location of the change(s), and then use conventional techniques to estimate the parameters of the process in each interval.

$C \sim Uniform(1, T)$ ) is targeted to find a posterior probability given by (7) which is validating hypothesis given by (4) at point  $C$ .

### 2.2. Seasonality Detection

Business time series often have multi-period seasonality as a result of the human behavior (Taylor & Letham, 2018). For automatic forecasting of traffic series for capacity planning of radio access networks, it is valuable to decompose the series into the level, growth, and seasonal components (Hyndman & Khandakar, 2008). It is not different for short-term and long-term time series generated by mobile networks traffic behavior (Nikraves, et al., 2016; Cortez, et al., 2006; Tikunov & Nishimura, 2007; Sciancalepore, et al. 2017). There are different ways of modeling the seasonality component of the series. One of them is modeling the periodic effects as standard Fourier series given by (8) (Harvey & Shephard, 1993). It is similar for Trigonometric Exponential Smoothing State-Space model with Box-Cox transformation, Autoregressive Moving Average (ARMA) errors, Trend and Seasonal Components (TBATS) modeling (Livera, et al., 2011).

$$s(t) = \sum_{n=1}^N \left( a_n \cos\left(\frac{2\pi n t}{P}\right) + b_n \sin\left(\frac{2\pi n t}{P}\right) \right) \quad (8)$$

where  $P$  is the period length. For instance,  $P = 12$  for monthly aggregated yearly data or  $P = 24$  for half-month aggregation of yearly data.

There are filtering-based decomposition techniques with partial regression line fitting. Seasonal Moving Averages is one of them including weighted averaging as an alternative. Also, there are methods for seasonal decomposition of longer series which work over monthly or quarterly aggregated data such as the X-11 method, Seasonal Extraction in ARIMA Time Series (SEATS) method (Dagum & Bianconcini, 2016), or hybrid version of them as X-13ARIMA-SEATS. X-11 and SEATS methods are aware of unexpected sudden falls in the trend component if long enough data is provided to clearly distinguish strong seasonality patterns from the trend. But when the monthly aggregated data points are not so many similar to two years historical data in our dataset, it is not easy to model multiplicative yearly seasonality by using only X-11 or SEATS methods. As an alternative to these methods, there is STL for nonlinear relationships and flexible controlling of trend and seasonal components regardless of aggregation granularity of data unlike X-11 and SEATS methods. STL is a filtering procedure for decomposing time series into trend, seasonal and remainder components, respectively. STL has a simple design that consists of a sequence of loess smoother applications. The simplicity allows analysis of the properties of the procedure and allows fast computation, even for very long time series and large amounts of trend and seasonal smoothing. Other features of STL are the specification of amounts of seasonal and trend smoothing that range, in a nearly continuous way, from a very small amount of smoothing to a very large amount, robust estimates of the trend and seasonal components (Cleveland, et al., 1990). STL can only model components additively. To be able to model multiplicative seasonality log-transformation is required to be applied which frequently exists in our data set series for mobile networks. A Loess smoother is applied locally weighted polynomial regressions at each point in the dataset, with the explanatory variables being the values close to the point whose

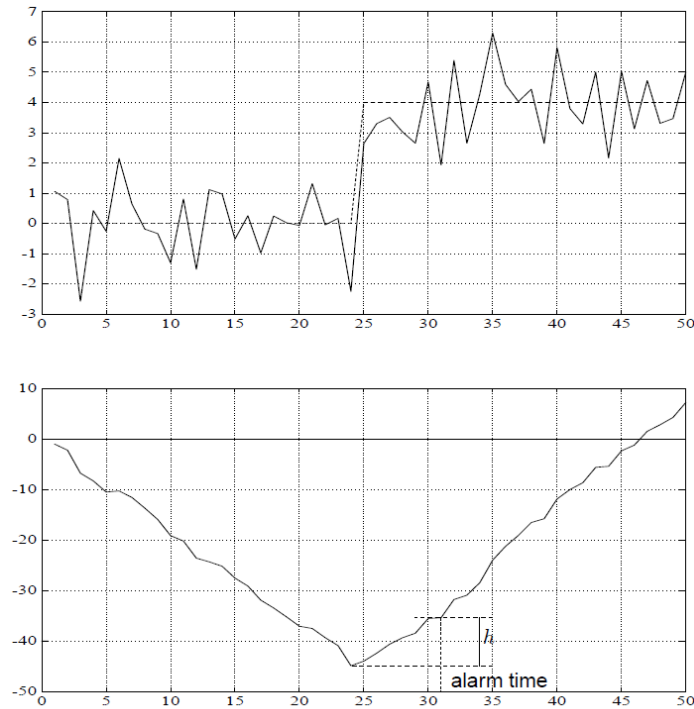


Figure 4. CUSUM log-likelihood ratio behavior to a change in the mean of a Gaussian sequence with constant variance (Basseville & Nikiforov, 1993)

Our goal in this study is not to define yet another changepoint detection algorithm, we used a Bayesian-based approach constructed on Prophet library's Bayesian approach where they specify a large number of changepoints and use a sparse prior as  $Laplace(0, \tau)$ . The parameter  $\tau$  directly controls the flexibility of the model in altering its rate (Taylor & Letham, 2018). But we enhanced their automatic changepoint detection outputs by comparing the distribution of significant change ratios among years. Hence, we separated it from multiplicative seasonality changes, and this helps to distinguish real changepoints. The impact of the changepoint on-trend is identified and decomposed successfully. Normally this approach marks all multiplicative seasonal changes as a high chance of changepoints with a significant rate of changes and repeats real changepoints in future forecasting since it is not designed as dedicated to changepoint detection algorithm.

In parallel to the growing number of time series and streaming data, there is a growing demand to be able to estimate the location of multiple changepoints efficiently and accurately (Killick & Eckley, 2014). For multiple changepoints detection problems, Bayesian rules are also used. Let the series  $T$  is generated with a probability distribution of parameter  $\theta$ . In this case, Bayes rule is

$$P(\theta|T) = \frac{P(T|\theta) P(\theta)}{P(T)} \quad (7)$$

where  $P(\theta|T)$  is posterior distribution,  $P(T|\theta)$  is the likelihood and  $P(\theta)$  is prior. So, a Bayesian Model to detect a single changepoint at  $C$  (as a discrete parameter,

response is estimated. The parameters for the STL procedure are obtained from the eigenvalue and frequency response analysis of a given time series. The iterated cycle is composed of two recursive procedures, the inner and the outer loop. If  $Y$  to be our traffic volume data and  $T$  represents the trend component or the long-term direction,  $S$  represents the seasonal component or a pattern which repeats periodically and  $\epsilon$  represents the random error. In this case, the inner loop performs six basic steps (Theodosiou, 2011):

1- Detrending: Let  $k$  means the value of our components at  $k^{th}$  pass of the algorithm. At the first iteration, the trend is assumed to be zero. At iteration  $k + 1$ , our traffic data is detrended with the components of the previous pass is given by (9) as

$$Y_t - T_t^{(k)} \tag{9}$$

2- Seasonal smoothing: Loess smoothing applied to the remainder of the first step to retrieve preliminary seasonal component,  $\widehat{S}_t^{(k+1)}$ .

3- Filtering of smoothed seasonality: By applying a moving average to the preliminary seasonal component and then another Loess smoother,  $\widehat{T}_t^{(k+1)}$  is retrieved as the remaining preliminary trend component.

4- Detrending of smoothed seasonality: The additive seasonal component becomes the difference between these two preliminary components is given by (10) as

$$S_t^{(k+1)} = \widehat{S}_t^{(k+1)} - \widehat{T}_t^{(k+1)} \tag{10}$$

5- Deseasonalizing: To retrieve non-smoothed trend component for iteration  $k+1$ , seasonal component subtracted from original series is given by (11) as

$$Y_t - S_t^{(k+1)} \tag{11}$$

6- Trend smoothing: At the final step, the seasonally adjusted remainder series is smoothed with Loess to give an estimate of the trend component  $T_t^{(k+1)}$

Hence, each pass of the inner loop applies seasonal smoothing that updates the seasonal component, followed by trend smoothing that updates the trend component.

There are hybrid solutions like Seasonal Hybrid Extreme Studentized Deviate (S-H-ESD) that is built on the ESD algorithm (Rosner, 1975) to address anomalies rather than changepoints in respect to seasonal patterns in series. In this study, we addressed a similar problem for changepoint aware seasonal impact extraction in mobile radio network traffic series. Our solution is built as a hybrid solution by using changepoint detections with the Bayesian approach of Prophet library, changepoint distribution similarities analysis for changepoint smoothing, and followed by STL decomposition. Hence, we successfully segregate the changepoint effect from actual multiplicative seasonal effects as an automated decomposition solution.

### 3. Material and Method

In this section, we explain the dataset utilized to develop our solution, validate its accuracy and its estimate parameters and the completed preprocessing operations required to feed the data into the algorithm and finally the workflow of the proposed algorithm.

#### 3.1. Dataset

It is not so easy to work and analyze long-term historical patterns of mobile network data due to the lack of recorded historical data allowed for external access. There are some public datasets from mobile operators like Telekom Italia or China Mobile shared for hackathons and academic purposes, but they do not include long enough historical data like two years and more. Many MNOs just in recent years started to build their data warehouses or data lakes for long-term strategic analytical purposes. To analyze and develop our algorithm, we work on a proprietary dataset of a Tier-1 European MNO. Collected data includes two years historical Long-Term Evaluation (LTE) traffic volume data in Megabytes, base station ids, cell ids, sector ids, city, region, band and vendor information. Dataset statistics are given in Table 1.

Table 1. Dataset statistics

Dataset Breakdown	Total Count
Number of regions	3 regions
Number of cities	4 cities
Number of cells	20680 LTE cells
Number of sites	4119 sites
Number of freq. layers	4 bands
Number of vendors	3 vendors
Time Interval	2018-Aug-1 / 2020-Aug-1

We selected 150 base stations from overall dataset which have different characteristics in terms of seasonality, changepoint existence. Characteristic of each base station is labeled by three SMEs. Total of 50 of them used for exploratory analysis and parameters tuning for supervision. Remained 100 base stations are used for model accuracy testing and not used for any analysis or parameter tuning purposes.

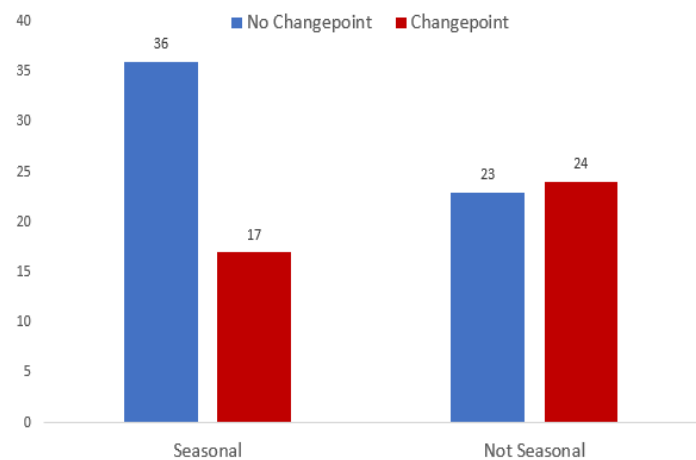


Figure 5. Distribution of labeled test base stations

Distributed number of categorized sites with SME labeling is shown in Figure 5. SMEs define 30% seasonal impact as a threshold to label a site as seasonal. So, let  $\{1, \dots, n\}$  be intervals of  $X_n^{(k)}$  traffic values serie of the base station  $k$ . If we denote seasonal component for a specific time ( $n$ ) as  $S_n^{(k)}$  and trend component as  $T_n^{(k)}$ , SMEs define a ratio threshold based on investment policies which are denoted with  $\lambda$  and defined as 0.30 in our study. To label a base station as seasonal ( $Is\_Sea^{(k)} = 1$ ) or not seasonal ( $Is\_Sea^{(k)} = 0$ ), we use the formula given by (12).

$$Is\_Sea^{(k)} = \begin{cases} 1, & \exists n \ni \frac{S_n^{(k)}}{T_n^{(k)}} \geq \lambda \\ 0, & \forall n \ni \frac{S_n^{(k)}}{T_n^{(k)}} < \lambda \end{cases} \quad (12)$$

If the ratio of seasonal and trend components of a base station go over 30% for any time interval, that base station is labeled as seasonal, otherwise it is labeled as non-seasonal even if it shows seasonal periodicity with lower levels. Non-seasonal base stations are not critical incapacity planning decisions when considering high season start-end dates. As displayed in Fig. 5, there are 53 base stations marked as seasonal and 47 as non-seasonal. 17 of the seasonal base stations have changepoints due to some reasons which may differ such as Covid-19 pandemic quarantines or traffic stealing of another near field cell investment. Changepoints can be in form of level shifts or trend increase or decrease.

### 3.2. Preprocessing

Some preprocessing operations are applied to make raw data more suitable for long-term seasonality and changepoint analysis. Collected data consists of cell level daily traffic volume and relevant cell planning data. Long-term seasonal periodicity and trend shifts are clearer when statistics are aggregated to get rid of misleading outliers. To expand the related base stations with new sectorial cell expansions or mobile base stations assignment at the correct time, the aggregation of daily data should not be too wide unnecessarily. Also, yearly seasonal characteristics are required to be preserved. So, the following steps are applied beforehand to submit data into the algorithm:

- 1- *Data cleaning*: There are some abnormal values due to some problems with EMS servers i.e., negative valued traffic volume data or missing cell id information, and so on.
- 2- *Missing data interpolation*: It is common to see missing daily traffic data due to some EMS server outages. Those values are interpolated with window-based (3 weeks before and 3 weeks after values) averaging of same days of weeks.
- 3- *Anomaly healing*: There are traffic values unexpectedly high or low due to incorrect reading of counters by Extract, Transform, and Load (ETL) platforms or EMS problems. These outlier days are detected with seasonal scaled Median Absolute Deviation (MAD), removed, and interpolated with correct values like in step 2. Weakly seasonality is considered in this step.
- 4- *Base Station level aggregation*: To decrease the processing time and discarding cell-level changes to focus more on location, cell-level data is aggregated into base station level daily data with summation of cell-based daily traffic volume under the same base station.

- 5- *Removal of new base stations*: Young base stations with less than 2 years of history are excluded from the dataset for yearly seasonality analysis.
- 6- *Storing processed data*: For future analysis, processed outputs are stored in the database.

Preprocessing operations are done automatically at once with some custom Python and SQL scripts and stored into PostgreSQL relational database. Batch analysis algorithm is consumed data stored in the database.

### 3.3. Algorithm

Preprocessed data are submitted into our hybrid solution for seasonal impact analysis. Hybrid solutions are aimed to utilize stronger functionalities of other solutions to yield much better outputs on specific problems. In this section, we provide the workflow of our hybrid algorithm that combines three steps under the hood which are using the flexibility of piece-wise Bayesian regression with a Laplacian (double exponential) sparse prior, rate of change-based energy distribution comparison for changepoint and seasonality search, and lastly decomposition of series components with STL's Loess smoother, respectively. To develop and test our hybrid solution, we utilized two external libraries coded in Python which are widely used in academia and industry. Initial Bayesian regression with sparse prior is built on top of Facebook's Prophet library (Taylor & Letham, 2018) which provides the ratio of changes distribution over time by using probabilistic Stan framework (Stan Development Team, 2020) at the backend. It is also explained by Erp et al. (2019). The other library is the statsmodels library (Seabold, et al., 2010) which we used for the STL algorithm in the last decomposition step.

The algorithm starts with aggregating daily base station traffic volume data into bi-weekly and monthly series to get rid of daily fluctuations and focusing more on yearly seasonal characteristics which are more critical for long-term investment decisions. Both aggregated series are log-transformed due to multiplicative seasonal characteristics of mobile radio networks. So, the seasonal impact over the base stations is a function of trend and showing multiplicative impact as a result of our explanatory analysis. A sample is shown in Figure 8.

We fit highly flexible Bayesian Lasso regression by using the Prophet library model on log-transformed traffic series to retrieve potential abnormal behavior on change ratio distribution. With the help of disabled seasonality, the ratio of change is explained inside the trend curve, hence seasonal changes are also retrieved in terms of change ratios. For every single month of two years, a potential changepoint is placed when the curve is fitted for further investigation of changepoints distribution and Laplace distribution swallows the weak changes. Both bi-weekly and monthly series are also decomposed with STL to check for trend-seasonal components changes. Both these indicators are used to decide if traffic series include changepoints and still show a seasonal characteristic or not. If history includes changepoint regarding the first indicator and also the second indicator, seasonal characteristic indicator, is positive, then a flexible trend curve is fitted to cover changepoint inside and subtracted from the main trend component for changepoint smoothing before STL decomposition. This helps changepoint impact to be segregated from seasonal movements and explained inside trend component. Prophet library tends to label high multiplicative seasonal rises as potential changepoints and STL library also tends to explain changepoints in the seasonal component. Also, Prophet library

explains seasonal component with Fourier series, and this creates a tendency for fitting seasonal impact as a multiplier of the previous year which has a lower trend component. This causes wrong fitting the level of seasonal rise for next year.

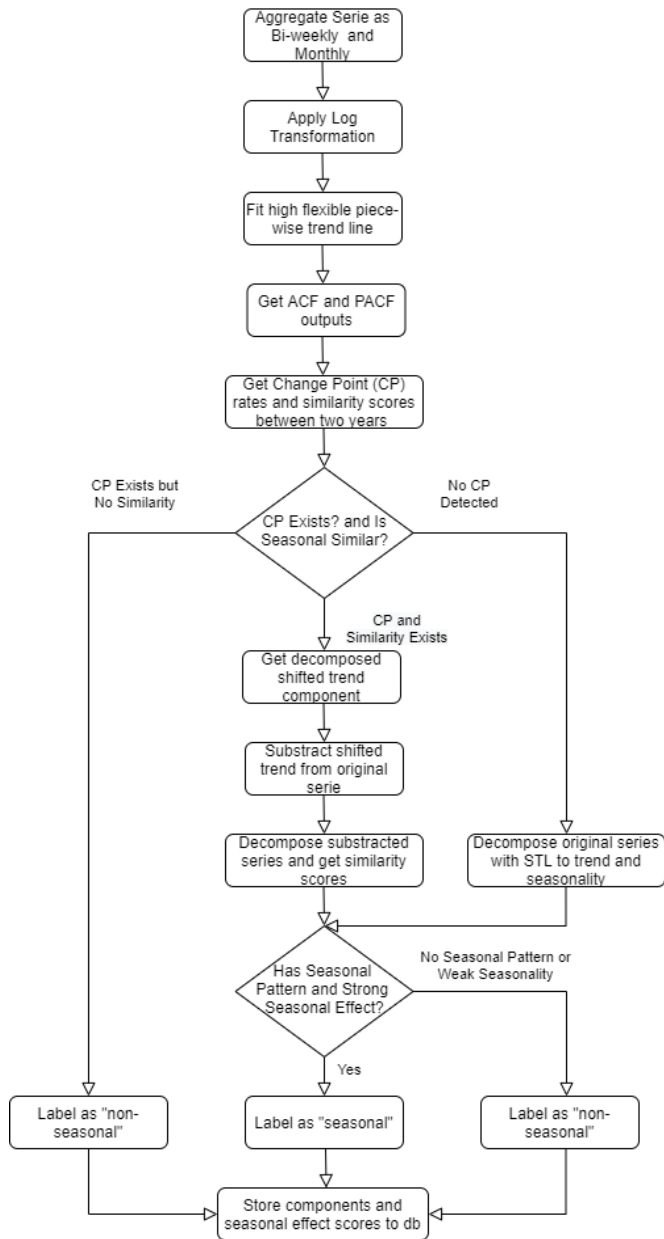


Figure 6. The main workflow of the algorithm

In our study, we yield five outputs, which are,

- strength of positive seasonal impacts in terms of Seasonal Power Index (SPI) values calculated with the formula given by (13),
- length of this seasonal periods in days,
- the overall SPI value of the base station in respect to formula given by (14),
- existence of changepoints in its history,
- label of the base station as “seasonal” or “not seasonal” by comparing its max SPI period with the 30% threshold definition of SMEs.

All 100 base stations in our testbed are benchmarked in these dimensions with previously done SME decisions and results are shared in section 4.

$$SPI_M = \frac{F_S(M)}{F_T(M)} \quad (13)$$

$$d_j(A, B) = 1 - J(A, B) = \frac{|A \cup B| - |A \cap B|}{|A \cup B|} \quad (14)$$

### 3.1.1. Changepoint and Similarity Controls

The most common and widely used time series decomposition algorithms like seasonal moving averaging, STL, or Prophet library suffer from changepoints if they are not identified correctly. This situation causes some incorrect decomposition such as mapping the dramatic changepoint change into seasonal component rather than trend component, fitting trend component incorrectly by smoothing seasonal characteristics unnecessarily, or mixing the real changepoints with highly multiplicative seasonal changes. These types of problems are pretty common when we look at mobile radio networks due to their non-stationary structure under the impact of changing customer behaviors or ongoing investment-based expansions of networks. So, to be able to design automated capacity planning solutions, it is a must to cover changing story of every single base station. It is straightforward to decompose seasonal and trend components for all common decomposition methods if the base station has clear seasonality with additive or lower scaled multiplicative seasonality with no changepoints. But when the series is shorter similar to two years history in our dataset and characteristic variance is high on many base stations, common methods are required to be aware of these situations and improve with some additional controls and adjustments. To identify potential changepoints' existence and seasonal periodicity in the log, controls in Algorithm 1 are applied.

---

#### Algorithm 1 change ratio controls

---

```

procedure exec_change_ratio_controls (bw_series, sig_thr, rat_thr)
    set c_prio_sc ← 1.5, c_rmg ← 1.0, cp_in_y1 ← false, cp_in_y2 ← false
    set model ← init Prophet with no_sea, c_prio_sc, c_rmg
    call model.fit with bw_series
    set rc_y1[ ], rc_y2[ ] ← split model.rate_changes[ ] yearly
    set max_y1 ← Max(Abs(rc_y1)), max_y2 ← Max(Abs(rc_y2))
    set num_sig_y1 ← 0.1, num_sig_y2 ← 0.1
    for each change ratio c1, c2 in rc_y1[ ], rc_y2[ ]
        if Abs(c1) > sig_thr then
            increment num_sig_y1
        end if
        if Abs(c2) > sig_thr then
            increment num_sig_y2
        end if
    end for
    if num_sig_y1 / num_sig_y2 > rat_thr or max_y1 / max_y2 > rat_thr then
        set cp_in_y1 ← true
    elif num_sig_y2 / num_sig_y1 > rat_thr or max_y2 / max_y1 > rat_thr then
        set cp_in_y2 ← true
    return cp_in_y1, cp_in_y2
end procedure

```

---

We fit highly flexible Bayesian Lasso regression by using the Prophet library model on log-transformed traffic series to retrieve potential abnormal behavior of change ratios. Prophet library itself has two types of growth models which are non-linear, saturating growth, and linear trend with changeoints, respectively. We used the latter one with flexible changeoint prior scale as a generalized additive model. The default components of Prophet library models are formulated in (12). Here  $g(t)$  is the trend function which models non-periodic changes,  $s(t)$  represents periodic changes (e.g., weekly, monthly or yearly seasonality), and  $h(t)$  represents the effects of holidays which occur on potentially irregular schedules over one or more days and  $\epsilon_t$  is for normally distributed error terms (Taylor & Letham, 2018). But since we focus on the comparison of change ratios between two years, if they are similar or not including seasonal changes, we do not fit seasonal characteristics. At this step we only fit a growth model with flexible changeoint prior scale given by (15) and (16). The growth function consists of  $k$  as the growth rate,  $\delta$  as the rate adjustments,  $m$  as the offset parameter. If we suppose there are  $S$  changeoints at times  $s_j, j = 1, \dots, S$  then, the vector of rate adjustments as  $\delta$  and  $\delta_j$  is the change rate at the time  $s_j$ . Once the growth model is fitted with a flexible changeoint prior scale (default Prophet library value is 0.05), the model puts a sparse prior on  $\delta$  as we do at this stage to get the clear ratio of changes. It is called sparse prior since the prior has double exponential (aka Laplace) distribution as given by (17). The parameter  $\tau$  directly controls the flexibility of the model, due Laplace form. So, increasing this prior value makes the trend fitting more flexible. Hence, based on our empirical analysis over seasonal labeled base stations, we set it as  $\tau = 1.5$ , and by setting the changeoint range as 1.0, we look for 100% of the historical log-transformed traffic series. A change ratio over 0.8 is defined as significant change which also covers strong multiplicative seasonal upward and downward movements of traffic volume. The ratio of changes for the first and second year are compared by the number of significant ratios and maximum absolute values of ratios. In case of dissimilarity over a ratio distribution in both of these indicators are resulted as a potential changeoint indicator. There are some visualized samples in Section 4 for this scenario. We made an empirical analysis for changeoint including multiplicative seasonal base stations which are out of our test dataset and define this threshold as 3 times. Graph of a base station with multiplicative seasonal characteristics and ratio of changes of its log-transformed bi-weekly traffic is shown in Figures 8 and 12.

$$y(t) = g(t) + s(t) + h(t) + \epsilon_t, \quad (15)$$

$$y(t) = g(t) + \epsilon_t, \quad (16)$$

$$g(t) = (k + a(t)^\tau \delta)t + (m + a(t)^\tau \gamma), \quad (17)$$

$$\delta_j \sim \text{Laplace}(0, \tau) \quad (18)$$

Let  $P$  is seasonal period and  $X = \{X_{S1}, X_{S2}, \dots, X_{SN} \mid N \leq P\}$  is the seasonal component index and  $F_S(X), F_T(X)$  are the decomposed functions of seasonality and trend components, respectively, then we calculate the strength of the seasonal impact of a month as SPI given by (18). When  $X = M$  where  $M$  means a certain month, the monthly SPI of that month is calculated as (13).

We checked for the existence of another indicator that helps us to distinguish base stations with seasonal similarities in terms of monthly SPI changes by using Jaccard distance as the complementary of Jaccard similarity score in (14) (Jaccard, 1912).

In our dataset there are base stations at high seasonal locations but also have level shifts in their history. Despite changeoints, they preserve seasonal characteristics, so the algorithm check for their characteristic similarity in terms of SPIs with the algorithm in Algorithm 2. To calculate monthly SPIs of two years, firstly we decompose log-transformed traffic series with STL decomposition algorithm, hence we have trend and seasonal components even if the existence of changeoint ruins seasonal component. SPI changes are binarized regarding their upward and downward direction and both binary direction vectors (as A and B) and SPI change powers are compared among two years. Jaccard distance is obtained for directional comparison if the same months of two years are moving in similar directions. Moreover, as another indicator, the change of monthly SPIs for two years is similar to each other with a delta threshold, then the base station also labeled as having seasonal characteristics.

---

**Algorithm 2** seasonal characteristics controls

---

```

procedure exec_sea_char_control (m_series, delta_thr, spi_sim_thr,
jacc_thr)
    set num_similars  $\leftarrow$  0, num_match_dir  $\leftarrow$  0, num_match_pos  $\leftarrow$  0
    set has_sea_pattern  $\leftarrow$  false
    set model  $\leftarrow$  init STL with yearly_sea
    set trend_m, sea_m  $\leftarrow$  call model.fit with m_series get decompose_res
    set spi_m[len(m_series)]  $\leftarrow$  null
    for each component tre_of_month, sea_of_month in trend_m, sea_m
        add spi_m  $\leftarrow$  sea_of_month / tre_of_month
    end for
    set spi_y1[ ], spi_y2[ ]  $\leftarrow$  split spi_m [ ] yearly
    for each index ix in spi_y1, spi_y2
        set spi_m_y1  $\leftarrow$  spi_y1[ix], spi_m_y2  $\leftarrow$  spi_y2[ix]
        set spi_m_y1_prev  $\leftarrow$  spi_y1[ix - 1], spi_m_y2_prev  $\leftarrow$  spi_y2[ix - 1]
        if Abs(spi_m_y1 - spi_m_y2)  $\leq$  delta_thr then
            increment num_similars
        end if
        if (spi_m_y1_prev - spi_m_y1) * (spi_m_y2_prev - spi_m_y2)  $>$  0
then
            increment num_match_dir
        end if
        if spi_m_y1 * spi_m_y2  $>$  0 then
            increment num_match_pos
        end if
    end for
    set jacc_sc_dir  $\leftarrow$  num_match_dir / 12, jacc_sc_pos  $\leftarrow$  num_match_pos / 12
    if num_similars  $\geq$  spi_sim_thr and jacc_sc_dir  $\geq$  jacc_thr
and jacc_sc_pos  $\geq$  jacc_thr then
        has_sea_pattern  $\leftarrow$  true
    return has_sea_pattern
end procedure

```

---

Monthly changes are compared among years and their similarity is calculated in terms of SPI change direction (upward, downward) and position (below trend or above trend). Both matches are compared with Jaccard distance. If the monthly decomposed pattern of a base station shows similarity above 25% ( $spi\_sim\_thr = 0.25$ ) and less than 50% ( $jacc\_thr = 0.5$ ) Jaccard distance, then it is accepted in our study a potential seasonal pattern regardless from changepoint. If the changepoint indicator is also positive, then a flexible trend covering the changepoint inside is calculated and subtracted from the main trend before STL decomposition. Hence, the impact of trend shift is not added to the seasonal component.

### 3.1.2. Decomposition and Seasonal Impact Calculations

As aforementioned above, decomposition of monthly and bi-weekly series are done with STL decomposition. The seasonal power index is calculated per month with the formula given by (18). But to calculate a common seasonal impact score another formula is used given by (14). This formula consists of seasonal maximum and minimum values over corresponding trend values at the same moments. It is also shown in Figure 7.

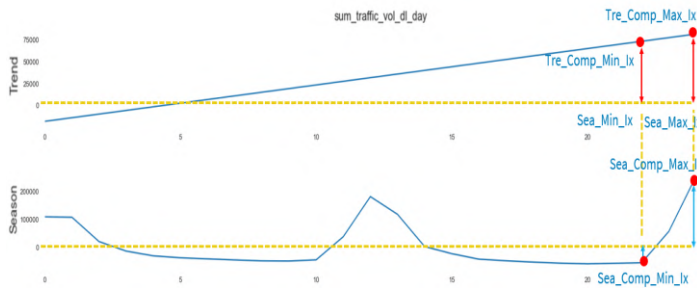


Figure 7. Base station seasonality power index parameters

Again, Let  $P$  is seasonal period and  $X = \{X_{S1}, X_{S2}, \dots, X_{SN} \mid N \leq P\}$  is the seasonal component index and  $F_S(X)$ ,  $F_T(X)$  are the decomposed functions of seasonality and trend components, respectively, then we calculate the total strength of seasonal impact for a base station SPI given by (19).

$$\begin{aligned} \text{Sea\_Max\_Ix} &= \text{ArgMax}(F_S(X)), \\ \text{Sea\_Min\_Ix} &= \text{ArgMin}(F_S(X)), \\ \text{Tre\_Comp\_Max\_Ix} &= F_T(\text{Sea\_Max\_Ix}), \\ \text{Tre\_Comp\_Min\_Ix} &= F_T(\text{Sea\_Min\_Ix}), \\ \text{Sea\_Comp\_Max\_Ix} &= F_S(\text{Sea\_Max\_Ix}), \\ \text{Sea\_Comp\_Min\_Ix} &= F_S(\text{Sea\_Min\_Ix}), \end{aligned}$$

$$\text{SPI} = \frac{\text{Sea\_Comp\_Max\_Ix} + |\text{Sea\_Comp\_Min\_Ix}|}{\text{Tre\_Comp\_Max\_Ix} + \text{Tre\_Comp\_Min\_Ix}} \quad (19)$$

## 4. Experimental Results and Discussion

In this section, we analyze specific use-cases for different characteristics of base station traffic data and hard to handle situations where our hybrid algorithm takes over shortcomings of pure Prophet library and STL-based approaches. In the end, we provide the accuracy results of the algorithm for the test set prepared by SMEs and retrieve outputs for the whole network.

### 4.1. Specific Cases to Handle

We can simply categorize base stations into two main categories as seasonal and non-seasonal stations in respect to the long-term seasonality component of traffic volume. But there are sub-categorized cases when it comes to extracting seasonal components in an automated fashion. For automated decomposition scenarios, it is not feasible to make an explanatory analysis for each base station with empirical methodologies since a typical Tier-1 network has more than a hundred thousand base stations. So, we explain some of these cases in this section over real network data and visualize the shortcomings of existing approaches of the two libraries underneath.

#### 4.1.1. Aggressive Multiplicative Seasonality

The very first and common case to see is the aggressive multiplicative level for some base stations. Seasonal impact value changes as a function of the trend for this type of base station as seen in Figure 8. The main trend is in red just to supply an idea about linear trend growth. Mainly, the base station traffic trend needs to be saturated based on SME evaluations, so the final decomposition of trend is set to logistic growth by our algorithm taken from STL decomposition rather than Prophet library's logistics growth. In this sample base station traffic makes peaks around April, May, June periods each year, and the aggressiveness of the seasonality increases as a function of a trend which is also increasing as a function of time to a saturating point due to available resource blocks of the base station.

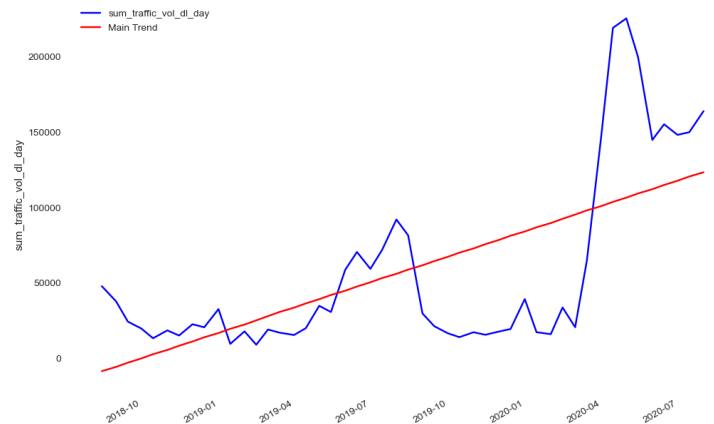
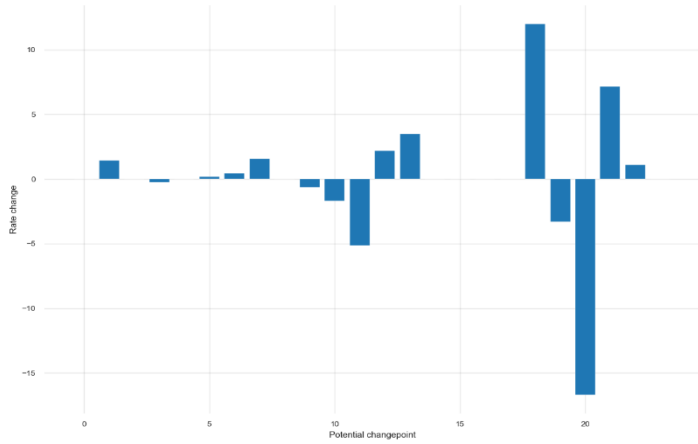


Figure 8. Base station sample with multiplicative seasonality

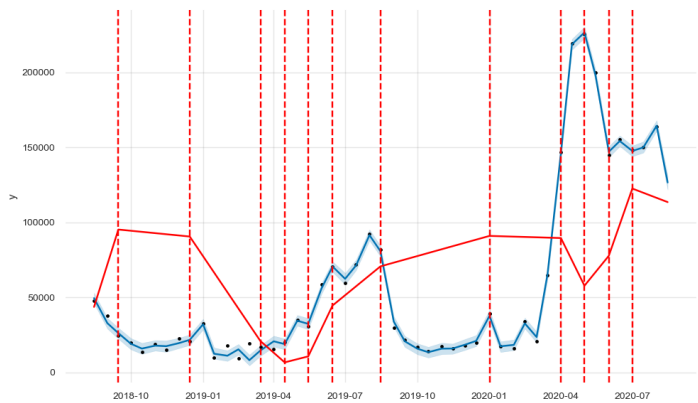
To be able to detect changepoints, a Laplace prior with higher flexibility causes this aggressive multiplicative seasonal boosting to be considered as strong changepoints. The distribution of change ratios by time for  $Laplace(0, 1.5)$  can be seen in Figure 9 and Figure 10 for the multiplicative yearly seasonality model constructed on the Prophet library.

Keeping changepoint prior too flexible unnecessarily to grab any potential changepoints causes seasonal movements to be marked as potential changepoints and this results from unexpected trend changes to keep yearly multiplicative seasonality fitting. Here the seasonal component is an output of Fourier series fitting. Specific to this sample, for a better Prophet library fit for the multiplicative yearly seasonality model, a less flexible prior is required like the default value  $Laplace(0, 0.05)$ . Its decomposed components are visualized in Figure 11. So, adjustment of changepoint priors plays a critical role in the correct mapping of traffic amount between trend and seasonal components. A single changepoint in Figure 11 is located in a close location to the middle of the overall series and indicates the

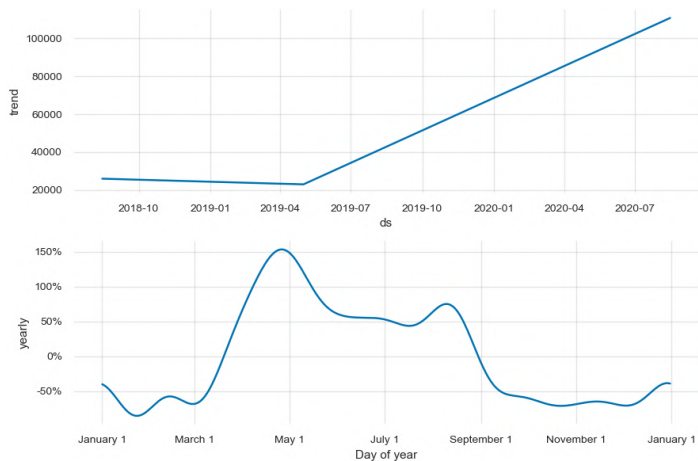
slope change on-trend fits better when looked into decomposed components. But keeping lower or default priors tends to discard trend changes and makes the model less robust against real changepoints as analyzed in Section 4.1.2. An automated solution should be capable to distinguish multiplicative seasonality movements including aggressive ones from the level shifts caused by some other reasons automatically.



*Figure 9. Ratio change distribution of flexible prior setup on multiplicative seasonal behavior*



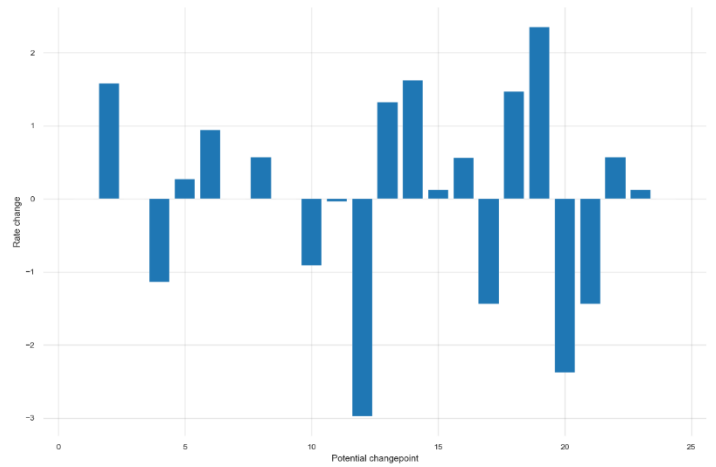
*Figure 10. Changepoint locations of flexible prior setup on multiplicative seasonal behavior*



*Figure 11. Components of less flexible prior setup on multiplicative seasonal behavior*

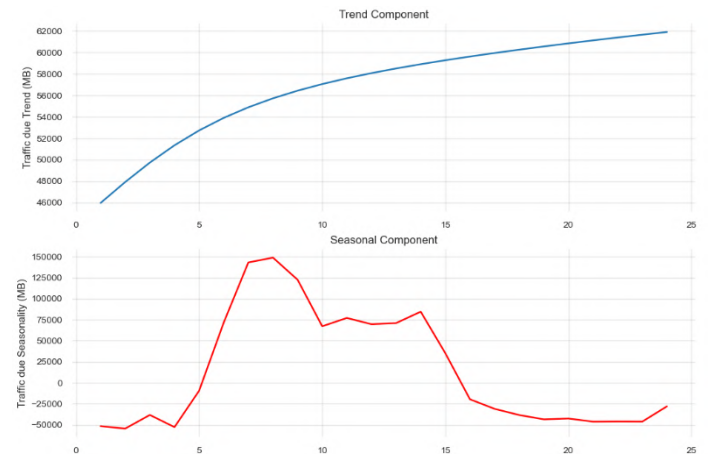
Log-transformation of the original series decreases the distance between two years in terms of Jaccard distance for multiplicative seasonality base stations. This makes it straightforward to compare movement similarities among two

years. As explained in Section 3.3, once log-transformation is applied to series and it is fitted with flexible before retrieving all possible change ratios, we get the distribution of ratios, visualized in Figure 12. The distribution of change ratios between two years is more similar in terms of amount and positions. It means lower Jaccard distances.



*Figure 12. Components of less flexible prior setup on log-transformed traffic data of multiplicative seasonality*

Algorithm 1 for changepoint controls explained in Section 3.1.1 returns false for this multiplicative seasonality base station since there is no significant difference between ratio changes of subsequent years. Both years have five significant ratio changes at similar amounts which are 2.7 and 2.3, respectively. Also, the similarity scores for monthly calculated SPI values are high. Jaccard distances which are explained with Algorithm 2 in Section 3.1.2 are calculated as 38%, 12%, and 38% for SPI change direction, change position, and amount for monthly SPI among two years. Hence, the subsequent controls for changepoints existence and change similarities based on Jaccard distance tell us, there exists seasonality but no changepoint for the specified base station. If changepoints exist, the algorithm would try to set a flexible trend curve to cover a level shift and subtracts it from the original series for correct seasonal decomposition. The specified base station is decomposed to saturating trend and seasonal components as the output of the STL decomposition part of the hybrid algorithm in Figure 14. The very recent values of components are considered which is 2020 in our case.



*Figure 13. Components of our algorithm for multiplicative seasonality with saturating trend component*

4.1.2. Level Shift Changepoints in History

Mobile networks are growing too fast, especially for the hotspot areas. So, newly deployed base stations or turned-off ones can cause dramatic trend shifts in neighbor base stations as expected by SMEs. There may be some other reasons like configuration changes of cells such as uptilt or downtilt actions for coverage optimization. So, when designing automated seasonal impact analysis, those types of level shifts should be considered and detected autonomously and distinguished from seasonal movements of traffic volume. A sample base station with the shifted level in terms of trend is visualized in Figure 14. Piece-wise Bayesian curve fitting with low changepoint prior (i.e.,  $Laplace(0,0.05)$ ) could not be adequate to catch this changepoint as visualized in Figure 15. History of the specified base station includes strong level shift after July 2019. But since changepoint prior is set to a lower value, which means less flexible prior setup, piece-wise mapping of curve catches only a few changepoints. So changepoints are placed incorrectly around May and this caused to map traffic change into the seasonal component.

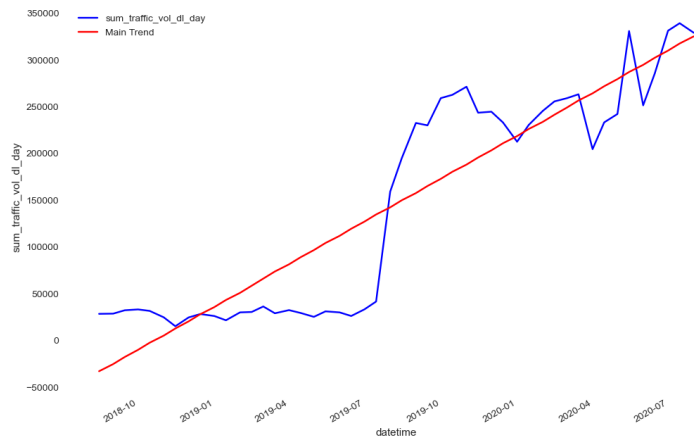


Figure 14. Base station with changepoint due to level shift

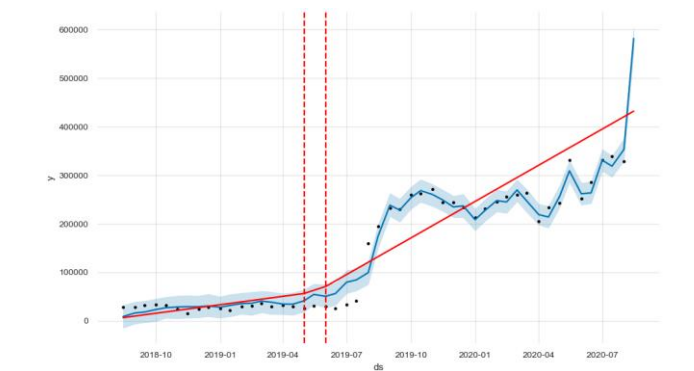


Figure 15. Changepoint locations of less flexible prior setup on multiplicative seasonal behavior

Similar decomposition output is also observed for STL based decomposition of series even if the series is log-transformed. As seen in Figure 16, when two years history is decomposed with STL (seasonal degree = 1, trend degree = 0), an abnormal change in traffic has explained with the incorrect seasonal component. It is not just STL that explains this change with the seasonal component so that in case of incorrect changepoint prior selection, Prophet library’s seasonality component is also affected highly. So, it is not straightforward to have the correct changepoint prior when compared with Section 4.1.1 where a less flexible prior worked fine unlike in this case.

Same prior failed as seen in Figure 15. For this special case, higher flexibility (i.e.,  $Laplace(0, 1.5)$ ) to identify changepoint location performs much better and maps traffic into trend component relatively more reasonable format as shown in Figure 17.

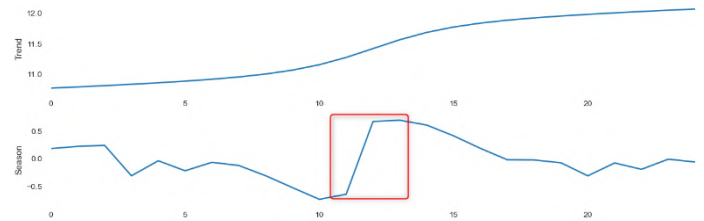


Figure 16. Misleading of STL decomposition with mapping of trend shift into seasonal component

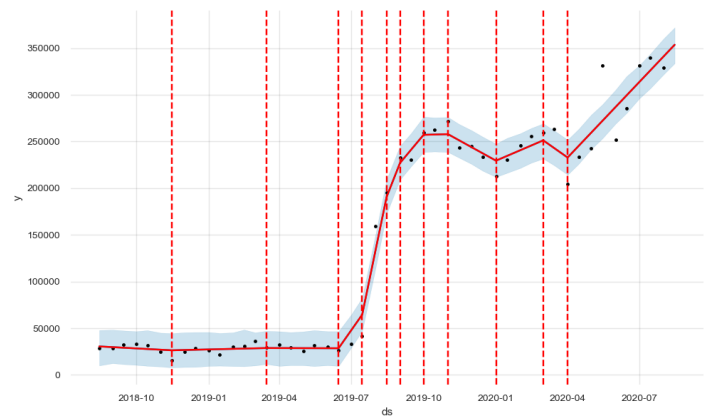


Figure 17. Changepoint locations of higher flexible prior setup on changepoint behavior

Our hybrid solution checks for the potential location of the changepoint and considers the correct section of history for decomposition. So, it takes the behavior of the latest year after changepoint as seen in Figure 18. Relatively smoother trend component with the levels of the year 2020 and seasonal component over it is distilled successfully. Sure, the related base station has some repetitive ‘up’s and ‘down’s both in the years 2019 and 2020 but it is but the relative amount of these seasonal movements are weak next to the trend component, so base station labeled as non-seasonal characteristics. Because we label base stations as ‘seasonal’ if they have any seasonal period over trend component by 30% difference as explained in Section 3.

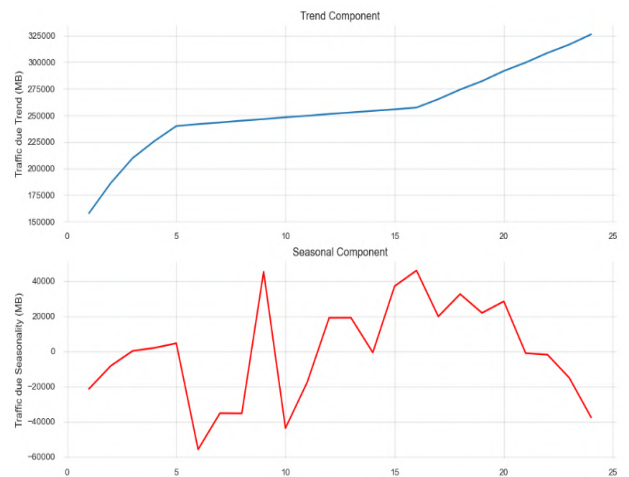


Figure 18. Components of our algorithm for changepoint due level shift



### 4.1.3. Trend Increase Changepoints in History

For some base stations, there is growing demand due to population increase, customer behavior changes, or some other reasons. The algorithm is required to catch these trend changes and adjust seasonal impact factors concerning these trend changes. As discussed in section 2, changepoints are not just because of level shifts. Non-stationary behavior of trend component with increasing or decreasing trend is also addressed as changepoints in literature. A sample trend change as exponential growth is visualized in Figure 19 where the trend is increasing with the new year.

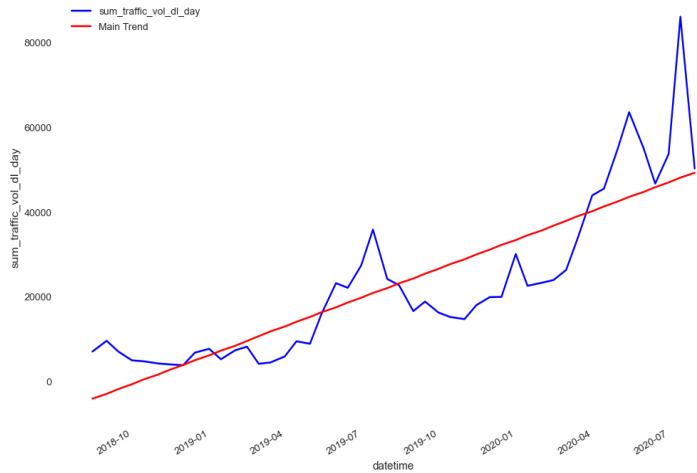


Figure 19. Base station with changepoint due to level shift

The algorithm detects a changepoint and tries to fit a piece-wise curve with a flexible changepoint prior. This curve is subtracted from the original traffic as shown in Figure 20. The remainder series is decomposed with STL to retrieve the final components of the algorithm in Figure 21. The seasonal impact for May, June, and July periods is higher and the month of July is the peak period for monthly data. So, any investment before month May is proposed for capacity planning suggestions.

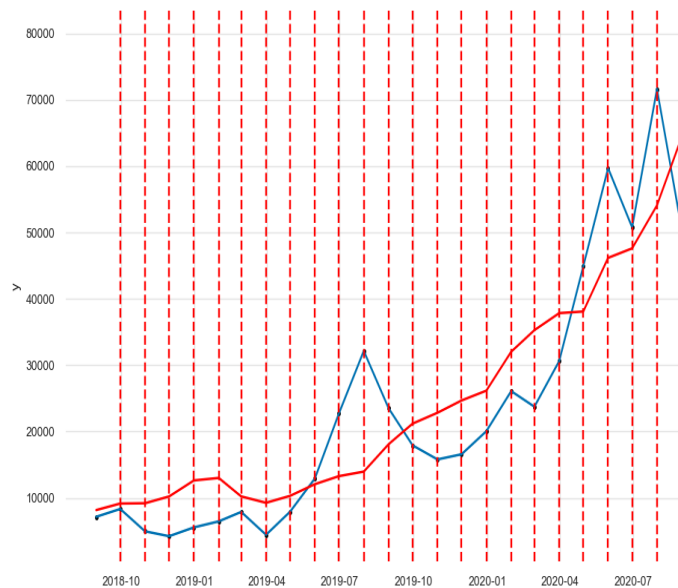


Figure 20. Changepoint locations of higher flexible prior with piece-wise fitting

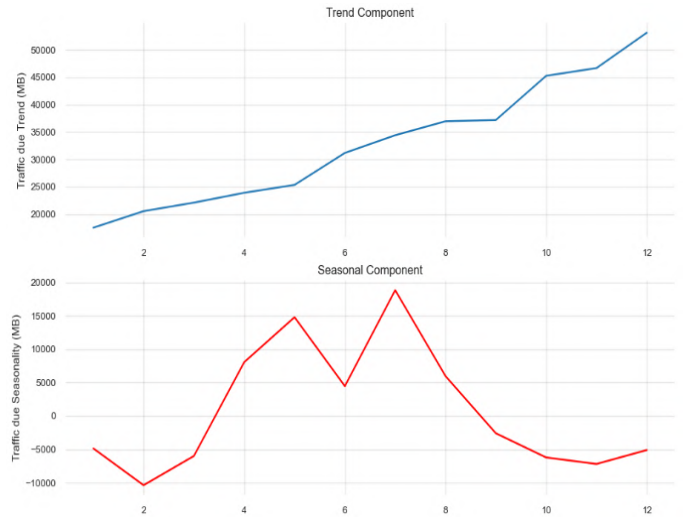


Figure 21. Components of our algorithm for a base station with changepoint due to the increasing trend

### 4.1.4. Weak Seasonality or Non-Seasonality

Each base station doesn't need to show strong seasonal characteristics. Some base stations do not have non-stationary behavior due to seasonality, so no seasonal pattern exists. Our algorithm is required to be aware of the seasonality over trend ratio for labeling the base station. Some base stations have a seasonal component that is similar to random walk or some others do not have strong peaks at seasons. We label those base stations as non-seasonal and do not consider their seasonal periods when evaluating future investment to overcome seasonal peak issues. For those regions, SMEs just consider changes in on-trend components. A sample non-seasonal, strong trend base station can be viewed in Figure 22.



Figure 22. Base station with non-seasonal characteristics

The traffic characteristics in this category of base stations are defined with their trend and some residuals which cannot be explained with some seasonal patterns. If there exist some seasonal patterns, their impact over trend strength is found weak. Even if the visual output of the final algorithm has a seasonal component that is too low comparing to the trend component including residuals inside. The peak point is around 15 GB for the seasonal component comparing to 150 GB for the trend component. It is less than 10%. Also, since Jaccard distance measuring similarity and correlated movements are too high, this base station is labeled as non-seasonal by our algorithm as expected.

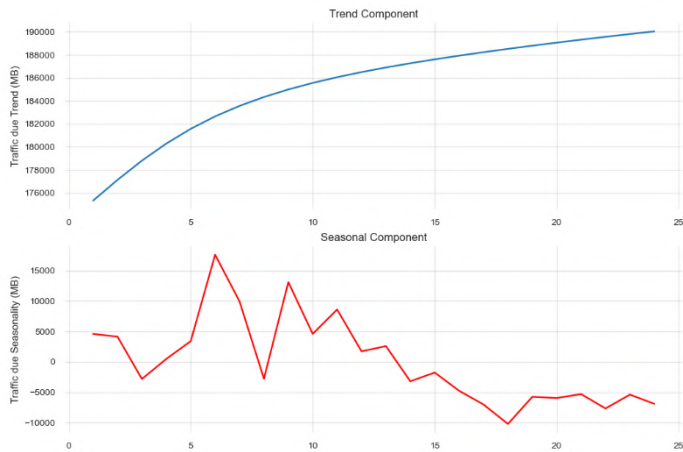


Figure 23. Components of our algorithm for a base station with non-seasonal characteristics

### 4.2. Accuracy Results and Discussions

In our study, we have 150 base stations labeled by SMEs and we use 100 of this set for accuracy testing. Another remaining batch of 50 base stations is used for exploratory analysis, parameters tuning for thresholds, and initial model tests. There are four main outputs of the algorithm such as,

- *Seasonal labeling*: category of the base station as seasonal or non-seasonal, in respect to seasonal pattern and its impact level. True if the base station is seasonal.
- *Power of seasonal impact*: SPI based relative impact score regarding the ratio of seasonal traffic amount to trend traffic amount
- *Existence of changepoint*: it is a value which is true if historical offline data of base station includes changepoints.
- *Duration of the season*: time in days during seasonal impact is over 30% continuously.

Our algorithm works on all test base stations and provides these four outputs. Two of them, seasonal labeling and the existence of changepoint are binary outputs. But the other two, power of seasonal impact and duration of the season are regressed values. To retrieve an overall accuracy score, we have turned these numeric outputs into categorical outputs by defining an acceptance criterion with SMEs' view. If the base station is correctly labeled for seasonality and changepoint status, it is then checked for seasonal impact amount and duration of the season as well in terms of Absolute Percentage Error (APE) as formulated given by (20). SPI is calculated above by considering the peak month of seasonal impact. There is also an actual value that is defined by SMEs per base station. The acceptable APE value for these two metrics is below 15%. Hence, it is satisfactory for planning engineers at network capacity investment decisions on time. In the case of retrieving 15% below the APE score for a base station in terms of SPI and duration, then both predictions are marked as True.

$$APE = \frac{|Calculated\ Value - Actual\ Value|}{Actual\ Value} \quad (20)$$

Each base station in test set is categorized by the algorithm, and they are labeled regarding to Table 2 truth table. Since we turn the problem into binary categorization, we get an overall accuracy metric with F1 score as formulated in Table 3. Not to miss on time

investment decisions and cause decreased customer experience, how many real positives are detected by our algorithm is critical. This corresponds to 'recall' value. Moreover, not to cause unnecessary investment decisions which leads increased CAPEX, how many of our positive decisions is really positive is also important for us. This one corresponds to 'precision' value in Table 3. In order to have a balance between these two metrics, we evaluate our general success with F1 score which is harmonic mean of precision and recall. We give equal weight to both scores, so keep beta as 1.0 which is default value for F-measure.

Table 2. Explanation of truth

<b>TP</b>	True-Positive means from all four dimensions, the result is correct and base station is seasonal with correct decomposition.
<b>TN</b>	True-Negative means from all four dimensions, the result is correct and base station is non-seasonal.
<b>FN</b>	False-Negative means labeling an actual seasonal base station as non-seasonal.
<b>FP</b>	False-Positive means labeling an actual non-seasonal base station as seasonal.

Table 3. Metric formulas

<b>Accuracy</b>	$(TP + TN) / (TP + FP + FN + TN)$
<b>Recall</b>	$TP / (TP + FN)$
<b>Precision</b>	$TP / (TP + FP)$
<b>F1 Score</b>	$2 \times Precision \times Recall / (Precision + Recall)$

Distribution of SPI and seasonal period length in our test set is visualized in Figures 24 and 25, respectively. As aforementioned in Section 3.1, our threshold for seasonal labeling is 30% as the initial criterion provided by SMEs. Hence, distribution has a higher frequency below 50 percent in SPI distribution. Similarly shorter seasonal periods have more frequency below 30 days.

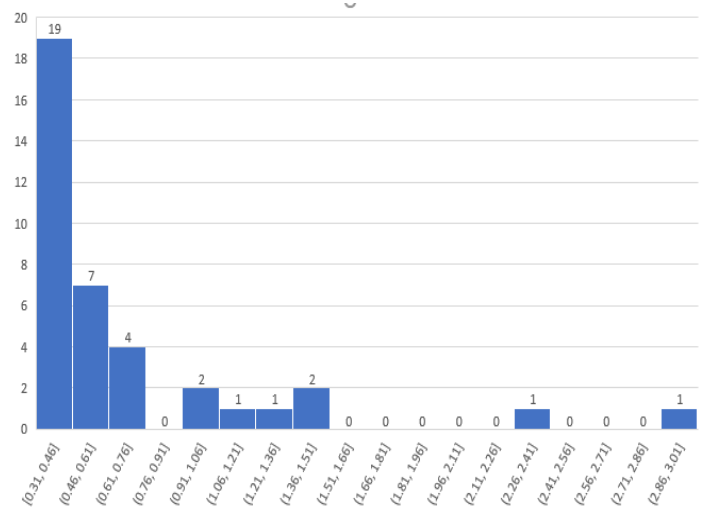


Figure 24. Distribution of test set SPI values output

The total number of labeling results is shown in Table 4 as a confusion matrix. Algorithm label 45 (True Positive) actual seasonal base stations correctly providing satisfactory period length calculation and seasonal impact values decomposition. The number of incorrect labeling or not-satisfactory decomposition is 8 base stations (False Negative) of them.

In these 8 FNs, 5 of them are due to incorrect decomposition of trend component slightly, whereas 3 of them are due to shorter period length calculations.

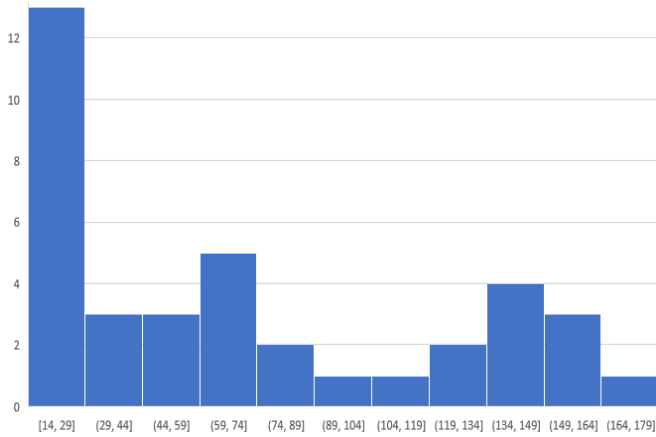


Figure 25. Distribution of test set seasonal period length

Here shorter means calculating period length more than 15% error. Our algorithm label 44 (True Negative) base stations correctly as non-seasonal. Due to some incorrect reactions to changepoints, SPI distribution similarity is not identified correctly. So, 3 of actual non-seasonal base stations are labeled as seasonal which is the number of false positives.

Table 4. Confusion matrix

	True Seasonal	True Non-Seasonal
Predicted Seasonal	45	3
Predicted Non-Seasonal	8	44

Overall accuracy results using precision, recall, and F1-score are listed in Table 5. We benchmark our algorithm with its underlying decomposition approaches as STL and Prophet library itself. We showed the improved accuracy of our algorithm on mobile network data comparing to these methods. Even our algorithm uses both these frameworks under the hood, by making some further auto-analysis over the changepoint possibility and their distribution, it understands critical changes in traffic history and selects the correct parameters and sections for improved decomposition performance. We retrieve 0.80 as an F1-score with our algorithm which is outperforming the average F1-score of STL and Prophet library approaches by 18.6%. As visualized in section 4.1, for historical data with changepoint inside, STL tends to explain these changes with a seasonal component which causes incorrect trend values for changepoint included base stations. Unlike STL, when Prophet library is executed with default parameters as automated changepoint detection capability it performs well but fails to cover drastic trend shifts and does not fit the trend component well enough. Prophet library is more successful at explaining multiplicative seasonality. Both solutions do not just consider afterward of changepoint for the final decision which is also another expectation from SMEs. They remain under the impact of series characteristics before changepoint time and preserving it as long-term memory. Base stations with these characteristics as explained in Section 4.1 are processed better with our algorithm, hence we get improved precision and recall scores in benchmarking as seen in Table 5.

Table 5. Accuracy results and benchmark

	Our Algorithm	STL	Prophet library
Precision	0.93	0.72	0.77

<b>Recall</b>	0.84	0.73	0.79
<b>F1-Score</b>	<u>0.89</u>	0.72	0.78

When we apply the final algorithm to the whole data set to categorize base stations we get the distribution in Figure 26. Total 31% of whole base stations are seasonal and 20% of base stations have changepoints in their history regarding our algorithm. The distribution of SPI values and seasonal period length is depicted in Figure 27 and Figure 28, respectively.

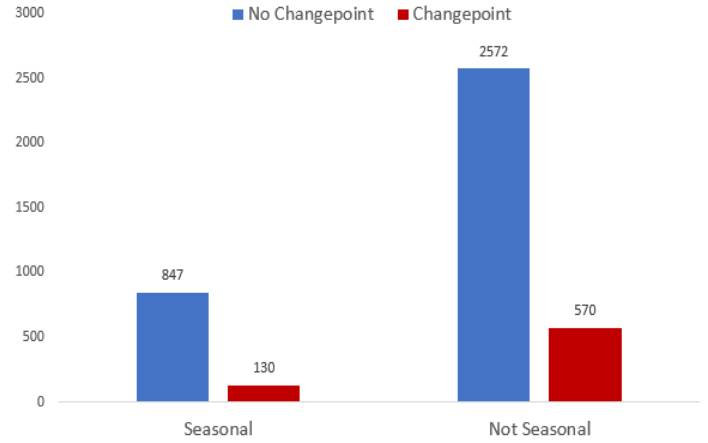


Figure 26. Distribution of labeled base stations of the whole dataset

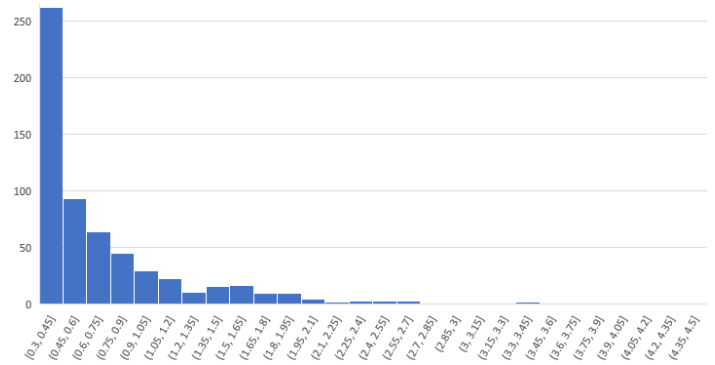


Figure 27. Distribution of whole dataset SPI values output

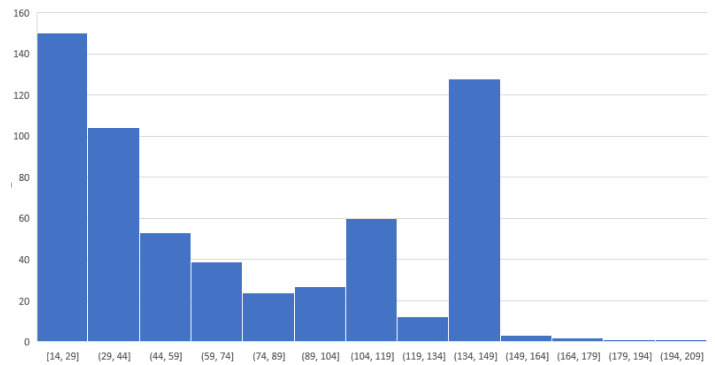


Figure 28. Distribution of whole dataset seasonal period length

## 5. Conclusions

In this study, an algorithm for seasonality detection and decomposition of mobile network base station traffic data is presented to extract seasonality impact on base stations by considering changepoint existence due to level shift or exponential trend increase. Automated capacity planning for

mobile networks requires long-term forecasting of traffic demand by using historical patterns. To decide the correct time of investment and correct capacity expansion size or improving the accuracy of forecasting algorithms with exogenous features, both seasonal decomposition and seasonal period identification improve decision accuracy. We designed a hybrid algorithm to calculate these features on live network data with improved accuracy which uses piecewise STL decomposition and Prophet library's regression with Laplace prior under the hood. Combining both methods with an awareness of their weak and strong parts and leveraging overall output with changepoint and similarity analysis help us to improve our accuracy around 18.6% comparing the average of single usage of these methods. We also provided some special cases that increase problem complexity and decrease decomposition accuracy. We visualized outputs of each method over struggling points on live network data. We completed all required preprocessing, data cleansing, and anomaly healing operations beforehand. Our analysis approaches traffic decomposition requirements for different purposes in a univariate, offline, parametric, and supervised way. For further research area, another solution which is unsupervised, online with limited history, non-parametric, multi-variate (ie. base station capacity limitations due to resource block unavailability or several connected UE counts) can be studied. Decomposing the seasonal impact of newly deployed base stations with low-quality history is also another further research area based on our discussions with subject matter experts.

## 6. Acknowledgement

A part of this work has been conducted under the frame of the Celtic-Next AI4Green project where efficient and risk-aware energy saving algorithms are studied in collaboration. Calculating high season start and end dates next to the multiplicative impact of seasons is significant for risk minimization of RAN energy saving algorithms since contemporary solutions rely on short-term predictions over limited history.

## References

- Aminikhanghahi, S. & Cook, D. J. (2017). A Survey of Methods for Time Series Change Point Detection. *Knowledge and Information Systems*, 51(2), 339–367.
- Balke, N. S. (1993). Detecting Level Shifts in Time Series. *Journal of Business & Economic Statistics*, 11, 81–92
- Basseville, M. & Nikiforov, I. (1993). *Detection of Abrupt Change Theory and Application*, Prentice-Hall, ISBN: 0-13-126780-9.
- Burg, G. J. J. & Williams, C. K. I. (2020). An Evaluation of Change Point Detection Algorithms.
- Chen, H. & Zhang, N. (2015). Graph-based change-point detection. *Annals of Statistics*, 43(1), 139–176.
- Cleveland, R. B., Cleveland, W. S., McRae, J. E., & Terpenning, I. J. (1990). STL: A seasonal-trend decomposition procedure based on loess. *Journal of Official Statistics*, 6(1), 3–33.
- Cortez, P., Rio, M., Rocha, M. & Sousa, P. (2006). Internet traffic forecasting using neural networks. *Proceedings of IEEE International Conference on Neural Networks*, 2635–2642.
- Dagum, E. B., & Bianconcini, S. (2016). Seasonal adjustment methods and real time trend-cycle estimation in *Statistics for Social and Behavioral Sciences*. Springer.
- Downey, A. B. (2008). A novel changepoint detection algorithm.
- Erp S.V., Oberski D.L., Mulder J. (2019). Shrinkage priors for Bayesian penalized regression. *Journal of Mathematical Psychology*, 89, 31–50.
- Gould, P. G, Koehler, A. B., Ord, J.K., Snyder, R. D., Hyndman R.J. & Vahid-Araghi, F. (2008). Forecasting time series with multiple seasonal patterns, *European Journal of Operational Research*, 191, 207–222.
- GSMA Intelligence. (2020). *Mobile Economy Research Report*. Available: [https://www.gsma.com/mobileeconomy/wp-content/uploads/2020/03/GSMA\\_MobileEconomy2020\\_Global.pdf](https://www.gsma.com/mobileeconomy/wp-content/uploads/2020/03/GSMA_MobileEconomy2020_Global.pdf), Accessed on: Mar. 21, 2021.
- Harvey, A. C. & Shephard, N. (1993), *Structural time series models in Handbook of Statistics*, Elsevier.
- Hyndman, R. J. & Khandakar, Y. (2008). Automatic Time Series Forecasting: The forecast Package for R. *Journal of Statistical Software*, 27(3), 22.
- Jaccard, P. (1912). The Distribution of the Flora in the Alpine Zone. *New Phytologist*, 11(2), 37–50.
- Killick, R. & Eckley, I. A. (2014). changepoint: An R Package for Changepoint Analysis. *Journal of Statistical Software*, 58(3).
- Lakshmanan, A. & Das, S. (2017). Two-stage models for forecasting time series with multiple seasonality.
- Livera, A. M., Hyndman, R. J. & Snyder, R. D. (2011). Forecasting time series with complex seasonal patterns using exponential smoothing. *Journal of the American Statistical Association*, 106(496), 1513–1527
- Nikravesh, A. Y., Ajila, S. A., Lung, C.-H. & Ding, W. (2016). An Experimental Investigation of Mobile Network Traffic Prediction Accuracy. *Services Transactions on Big Data*, 3(1), 1–16.
- Page, E. S. (1954). Continuous inspection schemes. *Biometrika* 41.1/2, 100–115.
- Rosner, B. (1975). On the detection of many outliers. *Technometrics*, 17(2), 221–227.
- Sciancalepore, V., Samdanis, K., Costa-Perez, X., Bega, D., Gramaglia, M. & Banchs, A. (2017). Mobile traffic forecasting for maximizing 5G network slicing resource utilization, *Proceedings of IEEE International Conference on Computer Communications*.
- Scott, A.J. & Knott, M. (1974). A Cluster Analysis Method for Grouping Means in the Analysis of Variance. *Biometrics*, 30(3), 507–512.
- Seabold, Skipper & Perktold, J. (2010). statsmodels: Econometric and statistical modeling with python. *Proceedings of the 9th Python in Science Conference*.
- Stan Development Team. (2020). *Stan Modeling Language Users Guide and Reference Manual*, 2.19.1. <https://mc-stan.org>
- Taylor, S. J. & Letham, B. (2018). Forecasting at scale. *The American Statistician*, 72(1), 37–45.
- Theodosiou M. (2011). Disaggregation & aggregation of time series components: A hybrid forecasting approach using generalized regression neural networks and the theta method. *Neurocomputing*, 74(6), 896–905.
- Tikunov, D. & Nishimura, T. (2007). Traffic prediction for mobile network using Holt-Winter's exponential smoothing, *Proceedings of International Conference on Software, Telecommunications and Computer Networks*, 310–314.
- Yu, Y., Wang, J., Song, M. & Song, J. (2010). Network traffic prediction and result analysis based on seasonal ARIMA and correlation coefficient. *Proceedings of 2010 International Conference on Intelligent System Design and Engineering Application*, 1(1), 980–983.



# Brand Analysis in Social Networks Using Deep Learning Techniques

Fatma Gulsah Tan<sup>1</sup>, Mehmet Erkan Yuksel<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Suleyman Demirel University, Faculty of Engineering, Department of Computer Engineering, Isparta, Turkey, (ORCID: 0000-0002-2748-0396), gulsah@sd.edu.tr

<sup>2\*</sup> Mehmet Akif Ersoy University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Computer Engineering, Burdur, Turkey, (ORCID: 0000-0001-8976-9964), erkanyuksel@mehmetakif.edu.tr

(First received 17 May 2021 and in final form 12 September 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.938604)

**ATIF/REFERENCE:** Tan, F. G., Yuksel, M. E. (2021). Brand Analysis in Social Networks Using Deep Learning Techniques. *European Journal of Science and Technology*, (27), 386-391.

## Abstract

In recent years, the importance of social media data has increased with the developments in information and communication technologies, and data volume, velocity, variety, veracity, and value have been affected by these developments. Because of the popularity of social networks, the analysis of social media data has also become an important issue for large companies whose brand identity is very crucial. User comments, shares, and explanations in social networks can be used to obtain information about the brand and product. Besides, deep learning techniques, which have become popular recently and provide high accuracy, can be employed for big data analysis in social networks. The number of studies examining the brand image in social networks is quite limited. In this context, we developed a model that performs brand analysis using deep learning techniques in social networks by considering the Starbucks Coffee Company, one of the world's largest coffeehouse chains. We trained our model with Faster Region-based Convolutional Neural Network (Faster R-CNN), Single Shot Multibox Detector (SSD), Mask R-CNN, and You Only Look Once (YOLO) algorithms. We then tested the model on data from Instagram and compared the results. In the light of our results, we have shown that analyzes using deep learning techniques in social networks can significantly affect the image of companies and their brands.

**Keywords:** Brand analysis, Social networks, Big data, Deep learning, Convolutional neural networks.

## Derin Öğrenme Teknikleri Kullanarak Sosyal Ağlarda Marka Analizi

### Öz

Son yıllarda bilgi ve iletişim teknolojilerindeki gelişmelerle birlikte sosyal medya verilerinin önemi artmış, veri hacminin yanı sıra veri artış hızı, çeşitliliği, doğruluğu ve değeri bu gelişmelerden etkilenmiştir. Sosyal ağların popülaritesi nedeniyle, sosyal medya verilerinin analizi marka kimliği çok önemli olan büyük şirketler için kritik bir konu haline gelmiştir. Marka ve ürün hakkında bilgi edinmek için sosyal ağlardaki kullanıcı yorumlarından, paylaşımlarından ve açıklamalarından faydalanılabilir. Buna ilaveten, son zamanlarda popüler hale gelen ve yüksek doğruluk sağlayan derin öğrenme teknikleri sosyal ağlarda büyük veri analizi için kullanılabılır. Sosyal ağlarda marka imajını inceleyen araştırma sayısı oldukça sınırlıdır. Bu kapsamda, dünyanın en büyük kahve firmalarından biri olan Starbucks örneği ele alınarak sosyal ağlarda derin öğrenme tekniklerini kullanarak marka analizi yapan bir model geliştirdik. Modelimizi Faster Region-based Convolutional Neural Network (Faster R-CNN), Single Shot Multibox Detector (SSD), Mask R-CNN ve You Only Look Once (YOLO) algoritmaları ile eğittik, Instagram sosyal medya verileri üzerinde test ettik ve sonuçları karşılaştırdık. Elde edilen sonuçlar ışığında, sosyal ağlarda derin öğrenme teknikleri kullanan analizlerin, şirketlerin ve markaların imajını önemli ölçüde etkileyebileceğini gösterdik.

**Anahtar Kelimeler:** Marka analizi, Sosyal ağlar, Büyük veri, Derin öğrenme, Evrişimli sinir ağları.

\* Corresponding Author: erkanyuksel@mehmetakif.edu.tr

## **1. Introduction**

Brand analysis is a document that helps companies better understand their values. Research in a brand analysis will guide the brand to the right target and provide knowledge of the needs. With the changes brought by technology, the situation of the brands in the market is starting to deteriorate. As a result, the increase in competition creates the need for companies to try different methods to raise awareness of competitiveness (Boo et al., 2009). While creating this awareness, concepts such as brand identity and brand personality have emerged. Using social media to build our brand offers numerous opportunities to take advantage.

The rapidly increasing amount of real-world data in the social media environment has social and marketing values for large companies and government agencies, whose brand identity is vital. Powerful techniques are needed to collect data from the social media environment and perform content analysis for the data. The data used in the analysis phase should be clean, quality, and relevant to the subject. The data obtained from social media is large-volume, complex structure, and dirty. The traditional keyword-based approach to collect data about the target brand is very inadequate. The fact that images are more effective, enjoyable, and memorable than texts plays a significant role in social media branding. Images are more likely to be shared than texts. Therefore, using a versatile brand tracking method that collects relevant data based not only on the keywords developed but also on the visual content will help to overcome these problems (Dixon, 2020).

Brands have no choice but to evolve after developments in artificial intelligence. Therefore, companies should have a consumer layer by considering customers' personal information, shares, and comments. The purpose of using deep learning is to create a category-based product-level taxonomy to understand how consumers perceive brands. In this way, it helps to identify growth and development opportunities related to the relevant brand and understand how the product is perceived over time.

Deep learning can successfully analyze large amounts of data in many research fields. In this study, we developed a model that uses deep learning techniques to analyze a brand from the photos shared on social media. We chose Starbucks (one of the world's largest coffeehouse chains) as the company brand and Instagram (the most popular photo and video sharing social network service) to test our brand analysis model on social networks. Brand labeling is done by applying deep learning methods that recognize brand identity to photos taken in real-time via social media. Our study aims to search and discover the values of the relevant brand by tagging shared photos.

## **2. Related Work**

Denton et al. (2015) presented three different hashtag embedding models that predict highly diverse and relevant hashtags for real-world Facebook images. They employed user hashtags to capture the description of image content. They made use of valuable contextual information about the user. They showed how user metadata combined with image features derived from a convolutional neural network can be used to perform hashtag prediction. They explored two ways of combining these heterogeneous features into a learning framework: simple concatenation and a 3-way multiplicative

gating, where the image model is conditioned on the user metadata. They applied their models to a large dataset of de-identified Facebook posts and demonstrated that modeling the user can significantly improve the tag prediction quality over current state-of-the-art methods. Kanna et al. (2020) proposed a new intelligent methodology using deep learning to detect criminals from criminal surveillance cameras, based on the identification marks provided by the witness. This method takes gender, shirt pattern, and glasses usage as inputs to find the object as a person from the video data. The performance of this method provided an accuracy of 87% in identifying the person in the video frame. Li et al. (2020) developed a deep learning-based video detection system with a custom backbone for detecting rice diseases and pests symptoms. The system contains a frame extraction module, a still-image detector, and a video synthesis module. They used still images from their dataset to train a still-image neural network model. They employed the model to detect video frames. Their system extracts frames from video, sends the frame to the still-image detector for detection, and synthesizes the detected frame into video. It can detect multiple kinds of lesion spots in one video. The authors used Faster-RCNN as the framework in the still-image detector. They designed a custom deep convolutional neural network (DCNN) backbone of Faster-RCNN. Finally, they compared the backbones and the custom DCNN on rice diseases and pests video detection. They also proposed a set of video-based evaluation metrics based on a machine learning classifier, which reflected the quality of video detection effectively in the experiments. Nguyen et al. (2017) presented a real-time online image processing pipeline that comprises de-duplication and relevancy filtering mechanisms to collect and filter social media image content in real-time during a crisis event. They used a transfer learning approach based on state-of-the-art deep neural networks to filter out irrelevant image content. They employed perceptual hashing techniques for image de-duplication. They also performed extensive experimentation on several real-world disaster datasets to demonstrate the utility of their method. Perez et al. (2016) designed and developed deep learning-based methods to extract discriminative spatiotemporal characteristics for filtering pornographic content in videos. Their study is based on the premise that incorporating motion information in the models can alleviate the problem of mapping skin exposure to pornographic content, and advances the bar on automated pornography detection by using motion information and deep learning architectures. They presented novel ways for combining static (picture) and dynamic (motion) information using optical flow and MPEG motion vectors. They showed that both methods provide equivalent accuracies, but that MPEG motion vectors allow a more efficient implementation. Finally, they discussed results on a larger and more challenging dataset. Porzi et al. (2020) addressed and provided two important contributions for the novel task of multi-object tracking and segmentation (MOTS). They introduced an automated pipeline for extracting high-quality training data from generic street-level videos to overcome the lack of MOTS training data, without time- and cost-intensive, manual annotation efforts. The authors presented a deep-learning based MOTSNet architecture to be trained on MOTS data, exploiting a novel mask-pooling layer that guides the association process for detections based on instance segmentation masks. They provided exhaustive ablations for both their novel training data generation process and MOTSNet. Wang et al. (2016) introduced a novel learning-based logo detection method with social network information assistance.

They analyzed and used social network content to do scanning window filtering before logo detection. They proposed to utilize multiple microblog properties to perform scanning window filtering to improve detection precision and efficiency. They ranked how much a microblog relates to a brand based on multiple microblog properties. The authors presented a new dense histogram feature with spatial information integrated to classify logo and non-logo image patches in the detection stage. They conducted the experiments on Sina Weibo data. Zhao et al. (2016) proposed to predict the personalized emotion perceptions of images for each viewer. They investigated different factors that may affect personalized image emotion perceptions, including visual content, social context, temporal evolution, and location influence. They presented rolling multi-task hypergraph learning to consistently combine these factors and designed a learning algorithm for automatic optimization. For evaluation, they set up a large-scale image emotion dataset from Flickr.

### 3. Material and Method

In this study, we employed deep learning techniques for brand analysis. The system needs to be trained for the learning process to be carried out with the highest success. We used various CNN models to detect and classify the relevant brand in images and videos taken from the Instagram social network service. We used Faster R-CNN, Mask R-CNN, SSD, and YOLO models for our object detection system and compared the performances of these models. Figure 1 shows the application steps of our study.



Figure 1. Application stages

#### 3.1. Faster R-CNN

It is a deep neural network method developed for reducing the burden of the region recommendations step found in previous models. It enables a unified, deep learning based object detection system to run at near real-time frame rates. It has two modules: a deep fully convolutional network that proposes regions and the Fast R-CNN detector that uses the proposed regions. The learned RPN improves the region proposal quality and the overall object detection accuracy. Thanks to the sharing of convolutional layers, it performs object detection processes with high accuracy (Huang et al., 2017; Ren et al., 2016).

#### 3.2. Mask R-CNN

It is a simple to implement, flexible, and general framework for object instance segmentation. It efficiently detects objects in an image while simultaneously generating a high-quality segmentation mask for each instance. Mask R-CNN extends Faster R-CNN by adding a branch for predicting segmentation masks on each region of interest in parallel with the existing branch for classification and bounding box regression (He et al., 2017).

#### 3.3. SSD

It is a fast single-shot object detector using a single DNN deep neural network. It employs a feed-forward CNN that generates a fixed set of default bounding boxes and scores for the presence of object class examples in the boxes, followed by a non-maximum suppression step to generate final detections.

SSD uses a small convolutional filter for predicting object categories and offsets in bounding box locations, using separate filters for different aspect ratio detections, and applying the filters to multiple feature maps from the later stages of a network to carry out detection at multiple scales (Liu et al., 2016; Diwan et al., 2021).

#### 3.4. YOLO

It is a real-time object detection system. It frames object detection as a regression problem, straight from image pixels to spatially separated bounding boxes and associated class probabilities. It employs a single CNN that divides the image into regions and predicts bounding boxes and class probabilities directly from full images in one evaluation. It is faster than other algorithms. However, it cannot detect a group of small objects or irregularly shaped objects within an image (Redmon et al., 2016).

#### 3.5. Training, Validation, and Test

The four hundred images of the Starbucks brand were collected via Google Image to use in the training model. 20% of these images were used for test data and 80% for training data. The brand is individually labeled in each image. LabelImg (a tool for object labeling in TensorFlow library models) is employed for the labeling process. After the labeling process, XML files to be used in the training model were created for each image. Figure 2 shows the sample images and XML files. For the trained model to have a high performance, it is important that the images are taken from different angles, are varied, and the number of them is large.



Figure 2. Sample images and corresponding XML files

To develop the Starbucks brand detection model, existing object detection models were retrained using the data sets created. We determined which model and parameters will be used together with the labeling information of the brand object. We determined the labeling information (classification number) as starbuckslogo. We used Python programming language, TensorFlow library, faster\_rcnn\_inception\_v2\_coco, mask\_rcnn\_inception\_v2\_coco, SSD-Single Shot Multibox MobileNet\_v2, and YOLOv3 models. Parameters are the same as the labeling information. The parameter number is 1, and the parameter name is starbuckslogo. We employed a Lenovo Legion Y520 computer with Intel Core i7 CPU and Nvidia GTX 1050 Ti GPU. The training time took approximately 6 hours for Faster R-CNN, Mask R-CNN, and SSD and about 3 hours for YOLO. The YOLO model was implemented in 3000 steps and the other models in 10,000 steps. The number of steps can be changed according to the selected model, the data, and the

number of objects. We tested four models trained to detect the Starbucks brand on twenty different images and three videos obtained from Instagram. Figure 3, Figure 4, Figure 5, and Figure 6 show the resulting images of the model trained by Faster R-CNN, Mask R-CNN, SSD, and YOLO, respectively.



Figure 3. Results of the model trained by Faster R-CNN

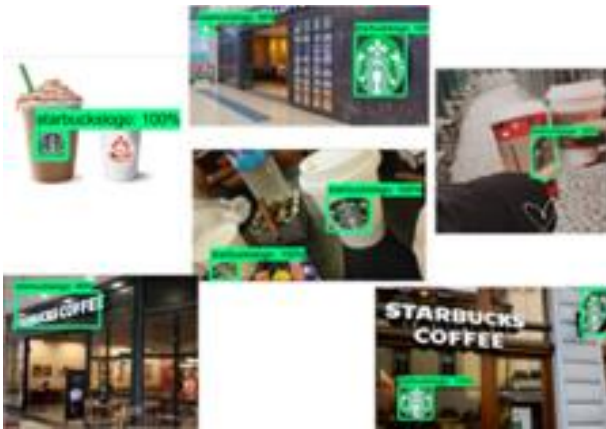


Figure 4. Results of the model trained by Mask R-CNN

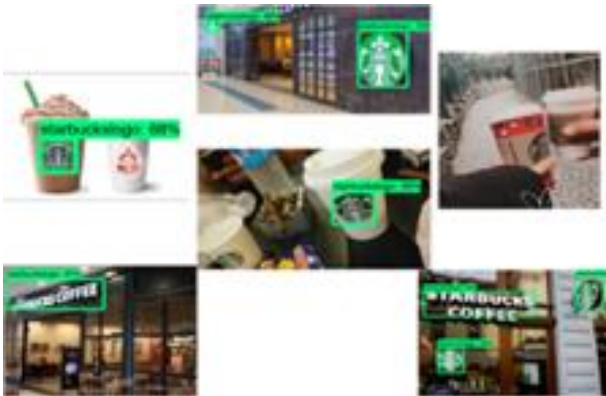


Figure 5. Results of the model trained by SSD



Figure 6. Results for the model trained by YOLO

We observed that the fastest model in the training and testing phases is YOLO. The training process was completed in 3000 iterations according to the missing graphic values. In other models, the speed order is as follows: SSD, Faster R-CNN, and Mask R-CNN. In these models, the training process was completed in 10000 iterations. YOLO performed the object detection by processing 26 seconds of video in about 10 seconds, SSD in 1 minute, Faster R-CNN, and Mask R-CNN in 8 minutes.

#### 4. Results and Discussion

The variety of information used for object detection increases the model success however causes an increase in processing time. Object detection is slow since models developed before Faster R-CNN apply more than one operation to the data. In this study, training models were created with Faster R-CNN, Mask R-CNN, SSD, and YOLO models, and their results were compared since the speed and consistency ratio are important in object detection. We employed widely accepted validation metrics to evaluate the performance of deep learning techniques. SSD can perform object recognition faster than the Faster R-CNN and Mask R-CNN models since it makes only one forward movement. Considering the consistency rate, the success rate of Faster R-CNN and Mask R-CNN is higher than the SSD. Mean Average Precision (mAP) was used to calculate the accuracy of the model. The mAP is a key performance metric in many multi-class classification tasks and is used to measure the accuracy of object detectors. It calculates the average precision value for the recall value from 0 to 1.

Precision is a measure of how much is correctly predicted from all classes. It should be as high as possible. It is the ratio of True Positive (TP) examples divided by the sum of True Positive (TP) and the False Positive (FP) examples.

$$Precision = TP / (TP + FP) \tag{1}$$

Recall measures the percentage of all relevant data returned by the classifier. It means that the model returns most of the relevant data.

$$Recall = TP / (TP + FN) \tag{2}$$

Average Precision (AP) is calculated by averaging the precision of the individual recall values for each class. The average of the AP values gives the MAP value. Table 1 shows the mAP values.



Table 1. mAP values

Model	mAP
Faster R-CNN	0.96
Mask R-CNN	0.96
SSD	0.76
YOLO	0.98

The average sensitivity for object detection by Faster R-CNN was 0.96, 0.96 for Mask R-CNN, 0.76 for SSD, and 0.98 for YOLO. When we compared the total loss of Mask R-CNN, SSD, and YOLO, we observed that Faster R-CNN starts from 1.1 and approaches below 0.1. We obtained similar results for Mask R-CNN. The loss of SSD in 10000 steps is close to 1, starting from 11.7. For YOLO, we observed the loss started from 1 and approached below 0.1 at the 1000th step. The results show that YOLO has higher performance than Faster R-CNN, Mask R-CNN, SSD, and Faster R-CNN and Mask R-CNN are stronger than SSD. Figure 7 depicts the loss curve plot of Faster R-CNN, Mask R-CNN, SSD, and YOLO models.

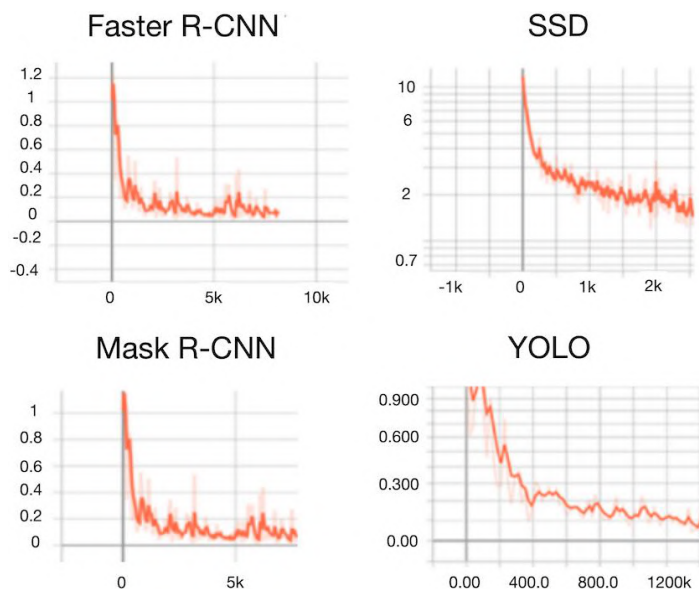


Figure 7. Loss curves of deep learning models

We used the visual logos of Starbucks in the image labeling. We determined the number of classes as one. We did not use the text logo because it can be in different languages. Since the labeling process was not performed, the results obtained during the test phase were ignored. The text logo of Starbucks must be evaluated in a different class, and labeling must be performed on the data belonging to it. This procedure helps to make better brand analysis by increasing the performance of the training model used.

Increasing images on social networks pose both a threat and an opportunity for companies' brands. With the applications developed by deep learning techniques, analyzes can be made on these social platforms, brands can be better understood, customers can be better known, and marketing strategies can be developed efficiently. Using scalable deep learning methods, it becomes possible to analyze billions of images and videos per day. In this study, we tested the training model with the data on Instagram, and we showed that this model can be employed for brand analysis easily in social networks. We used only videos and pictures in the brand analysis. Models can be developed using comments and tags under images, and better analyzes can

be performed. Using a large data set can enable the realization of social predictions more effectively. Thus, models developed can contribute to company decision-making processes for effective management plans.

## 5. Conclusions and Recommendations

In this study, we employed CNN-based techniques for brand analysis and real-time object detection in social networks. Faster R-CNN, Mask R-CNN, SSD, YOLO methods, and a dataset of Starbucks brand were used in the training model. Training time took approximately three hours for the YOLO model and about six hours for the other models. Video and image datasets collected from Instagram were used to analyze the model performance. YOLO can be preferred if both consistency rate and speed are essential in the applications. SSD works fast without the need for high-level hardware, but it cannot make accurate detections compared to other models. Faster R-CNN and Mask R-CNN create more accurate models than SSD. In our tests, we observed that the YOLO has a higher performance in real-time object detection. Consequently, we showed that the model we developed can be used on every platform for every brand and can easily perform brand analysis by using it on the stacked dataset.

## References

- Boo, S., Busser, J., & Baloglu, S. (2009). A model of customer-based brand equity and its application to multiple destinations. *Tourism Management*, 30, 219-223. <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2008.06.003>
- Denton, E., Weston, J., Paluri, M., Bourdev, L., & Fergus, R. (2015). *User conditional hashtag prediction for images*. The 21th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data mining, Sydney, NSW, Australia. <https://doi.org/10.1145/2783258.2788576>
- Diwan, A., Gupta, V., & Chadha, C. (2021). Accident detection using mask R-CNN. *International Journal for Modern Trends in Science and Technology*, 7(01), 69-72.
- Dixon, A. (2020). Efficient clustering for users' brand sentiment analysis on online social media. University Presentation Showcase Event.
- He, K., Gkioxari, G., Dollár, P., & Girshick, R. (2017). *Mask R-CNN*. IEEE International conference on computer vision, Venice, Italy.
- Huang, J., Rathod, V., Sun, C., Zhu, M., Korattikara, A., Fathi, A., & Murphy, K. (2017). *Speed/accuracy trade-offs for modern convolutional object detectors*. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Honolulu, HI, USA. <https://doi.org/10.1109/CVPR.2017.351>
- Kanna, J. S. V., Raj, S. M. E., Meena, M., Meghana, S., & Mansoor Roomi, S. (2020). *Deep learning based video analytics for person tracking*. International Conference on Emerging Trends in Information Technology and Engineering, Vellore, India. <https://doi.org/10.1109/ic-ETITE47903.2020.173>
- Li, D., Wang, R., Xie, C., Liu, L., Zhang, J., Li, R., & Liu, W. (2020). A recognition method for rice plant diseases and pests video detection based on deep convolutional neural network. *Sensors*, 20(3), 578. <https://doi.org/10.3390/s20030578>
- Liu, W., Anguelov, D., Erhan, D., Szegedy, C., Reed, S., Fu, C.-Y., & Berg, A. C. (2016). SSD: Single shot multibox

- detector. In B. Leibe, J. Matas, N. Sebe, M. Welling (Eds.), *Lecture notes in computer science: Vol. 9905. Computer Vision-ECCV 2016* (pp. 21-37). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-46448-0\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-319-46448-0_2)
- Nguyen, D. T., Alam, F., Ofli, F., & Imran, M. (2017). Automatic image filtering on social networks using deep learning and perceptual hashing during crises. arXiv: 1704.02602.
- Perez, M., Avila, S., Moreira, D., Moraes, D., Testoni, V., Valle, E., & Rocha, A. (2016). Video pornography detection through deep learning techniques and motion information. *Neurocomputing*, 230, 279-293. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2016.12.017>
- Porzi, L., Hofinger, M., Ruiz, I., Serrat, J., Buló, S., & Kotschieder, P. (2020). *Learning multi-object tracking and segmentation from automatic annotations*. 2020 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Seattle, WA, USA. <https://doi.org/10.1109/CVPR42600.2020.00688>
- Redmon, J., Divvala, S., Girshick, R., & Farhadi, A. (2016). *You only look once: Unified, real-time object detection*. The 29th IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Las Vegas, Nevada, USA.
- Ren, S., He, K., Girshick, R., & Sun, J. (2016). Faster R-CNN: towards real-time object detection with region proposal networks. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 39(6), 1137-1149. <https://doi.org/10.1109/TPAMI.2016.2577031>
- Wang, F., Qi, S., Gao, G., Zhao, S., & Wang, X. (2016). Logo information recognition in large-scale social media data. *Multimedia Systems*, 22, 63-73. <https://doi.org/10.1007/s00530-014-0393-x>
- Zhao, S., Yao, H., Gao, Y., Ji, R., Xie, W., Jiang, X., & Chua, T. (2016). *Predicting personalized emotion perceptions of social images*. The 24th ACM International Conference on Multimedia, Amsterdam, The Netherlands. <https://doi.org/10.1145/2964284.2964289>



# Veri Merkezi Güvenliğinin Sağlanmasında IoT Sensörlerinin Kullanımı Üzerine Bir Uygulama

Fatih Çağatay Baz<sup>1\*</sup>, Kadir Uludağ<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Yönetim Bilişim Sistemleri Bölümü, Osmaniye, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-6398-9851), [fatihcagataybaz@osmaniye.edu.tr](mailto:fatihcagataybaz@osmaniye.edu.tr)

<sup>2</sup> Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Yönetim Bilişim Sistemleri Bölümü, Osmaniye, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-7359-1396), [kuludag@osmaniye.edu.tr](mailto:kuludag@osmaniye.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 19 Mayıs 2021 ve Kabul Tarihi 10 Eylül 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.939216)

**ATIF/REFERENCE:** Baz, F. Ç. & Uludağ, K. (2021). Veri Merkezi Güvenliğinin Sağlanmasında IoT Sensörlerinin Kullanımı Üzerine Bir Uygulama. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (27), 392-397.

## Öz

Gün geçtikçe dijitalleşen yaşamımızda akıllı sistemler artık hayatımızın vazgeçilmez bir parçası haline gelmiştir. Evlerde kullanılmakta olan eşyalar; ulaşım araçları, akıllı sensör ve sistemler ile donatılmaya başlanmıştır. Akıllı sistemler ile yapay zekâ teknolojilerindeki gelişmeler üretim sektöründe de Endüstri 4.0 devrimini gerçekleştirmiştir. Tüm bu gelişmeler Nesnelerin İnterneti yani IoT olarak ifade edilen dijital inovasyonun gerçekleşmesidir. Bu sayede güvenlik senaryoları kendi aralarında iletişim kurabilen cihazlar ile hızlı ve güvenli bir şekilde sağlanmaktadır. Bu çalışmada Nesnelerin İnterneti (Internet of Things-IOT) uygulamaları için geliştirilen Raspberry Pi ve Arduino kartları ile birtakım sensörler kullanarak açık kaynak kodlu veri merkezi izleme uygulaması hayata geçirilmiştir. Çalışmada 64 bit işlemciye sahip Raspberry Pi 3 B+ ve Arduino Nano geliştirme kartlarının yanı sıra, hareket algılama, ısı-nem sensörleri, RC522 RFID modül, kamera, röle, led, buzzer ve I2C LCD ekran kullanılmıştır. Geliştirilen sistemde veri merkezlerinin izlenmesi için gerekli olan temel fonksiyonların başarılı bir şekilde gerçekleştirildiği gözlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Veri merkezi güvenliği, Raspberry pi, Arduino, Sensör, Snmp, Cacti, IoT.

## An Application on the Use of IoT Sensors to Ensure Data Center Security

### Abstract

Smart systems have become an indispensable part of our lives in our day by day digitalizing life. Items used in homes; transportation vehicles started to be equipped with smart sensors and systems. Developments in smart systems and artificial intelligence technologies have also made the Industry 4.0 revolution in the production sector. All these developments are the realization of digital innovation expressed as the Internet of Things, ie IoT. In this way, security scenarios are provided quickly and securely with devices that can communicate with each other. In this study, an open source data center monitoring application was implemented using some sensors with Raspberry Pi and Arduino boards developed for Internet of Things (IOT) applications. In the study, besides Raspberry Pi 3 B + and Arduino Nano development boards with 64 bit processors, motion detection, temperature-humidity sensors, RC522 RFID module, camera, relay, led, buzzer and I2C LCD screen were used. It has been observed that the basic functions required for monitoring data centers were successfully performed in the developed system.

**Keywords:** Data center security, Raspberry pi, Arduino, Sensor, Cacti, IoT.

\* Sorumlu Yazar: [fatihcagataybaz@osmaniye.edu.tr](mailto:fatihcagataybaz@osmaniye.edu.tr)

## 1. Giriş

Nesnelerin interneti kavramı basit tanımıyla fiziksel aygıtların birbiri arasında ya da daha büyük sistemlerle bağlantı kurarak veri alışverişinde bulunduğu iletişim ağıdır. Veri depolama ve iletişim teknolojilerindeki gelişmelere paralel olarak günümüzde endüstriyel üretim, bilişim, eğitim, sağlık, tarım, akıllı ev uygulamaları gibi birçok alanda kullanılmakta olan bu teknolojinin temel görevi gerçek dünya ile sanal dünya arasında bir köprü vazifesi görmesidir (Baz, 2018, Carrillo ve ark., 2015, Wikipedia, 2021).

Nesnelerin İnterneti teknolojisi fiziksel, işlem, ağ ve uygulama olmak üzere dört katmanlı bir mimari yapıdan oluşur. Bazı araştırmacılar bu dört katmana ek olarak iş katmanı adı verilen bir katman daha eklemiştir. Gerçek dünyadan verileri toplamamızı sağlayan sensörler en alt katman olan fiziksel katmanı oluşturur (Hammami, 2019). Nesnelerin İnterneti teknolojisindeki çarpıcı gelişmelerden biri de ağ katmanında meydana gelen yeniliklerdir. Son yıllarda özellikle mobil ağların yaygınlaşması ile internete bağlı cihazların sayısında çok önemli bir artış meydana gelmiştir. Ericsson tarafından yapılan bir araştırmaya göre 2025 yılına kadar 5 milyar IoT cihazın hücresele ağ üzerinden internete bağlanacağı öngörülmektedir (Liu ve ark., 2016, www.ericsson.com, 2021).

Nesnelerin İnterneti teknolojisinde nesneler birbirleriyle RFID, ZigBee, WPAN, WSN, DSL, UMTS, GPRS, WiFi, WiMax, LAN, WAN, 3G gibi kablolu ya da kablosuz bağlantı protokollerini kullanarak iletişim kurarlar. Bu şekilde nesneler birbiriyle etkileşim haline girer ancak etkileşim tek başına yeterli değildir. Kendi kendine bilgiyi işleme, yapılandırma ve karar verebilme nesneleri akıllı hale getirir. Böylelikle insandan-insana doğru başlayan etkileşim süreci, insandan-nesneye, sonrasında da nesneden-nesneye evrilir (Tan ve ark., 2010).

### 1.1. Nesnelerin İnterneti Kavramı (Internet of Things - IoT)

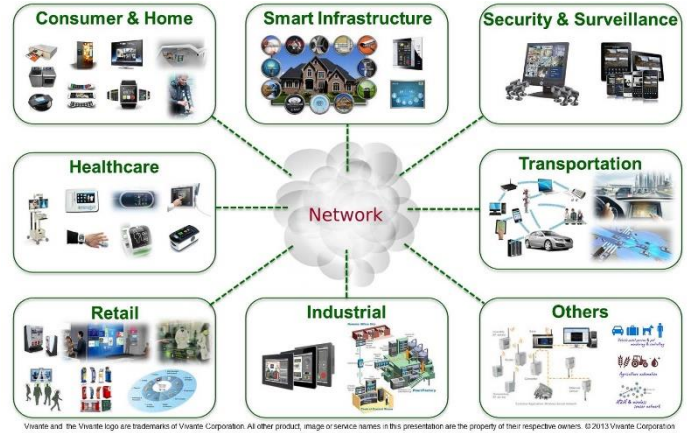
İlk IoT cihazı olarak kabul edilen ve internet üzerinden açılıp kapatılabilen ekmek kızartma makinası 1990 yılında John Romkey tarafından geliştirilmiştir (Romkey, 2017). 1991 yılında Tim Berners-Lee ilk web sayfasını yayınlamıştır. Asıl dönüm noktası ise 1999 yılı olmuştur. Zira Kevin Ashton, UPC barkod sistemini değiştirmeye yönelik olarak RFID tabanlı stok yönetim sistemi çalışmalarında ilk defa "Nesnelerin İnterneti" terimini kullanmıştır. 2005 yılında Uluslararası Telekomünikasyon Birliğinin konu hakkındaki ilk raporunu yayınlamasının ardından 2008 yılında aralarında Bosch, Cisco, Ericsson, Intel, SAP, Sun, Google ve Fujitsu gibi şirketlerin yer aldığı bir grup şirket akıllı nesneler ağında IP kullanımını artırmak ve nesnelerin interneti kavramını hayata geçirmek amacıyla IPSO Alliance adında bir iş birliği gurubu oluşturdular. Dolayısıyla 2008-2009 yılları arasında "Nesnelerin İnterneti" teknolojisi doğmuş oldu (Keertikumar ve ark., 2015).

IoT cihazların günlük hayattaki kullanım alanları bazı ana gruplar altında toplanabilir. Bu ana başlıklar (Dudhe ve ark., 2017):

- ✓ Endüstride; çalışanların soluduğu hava kalitesinin ölçülmesi, sıcaklığın izlenmesi, gıda sanayisinde kullanılan kimyasalların seviyelerinin izlenmesi,

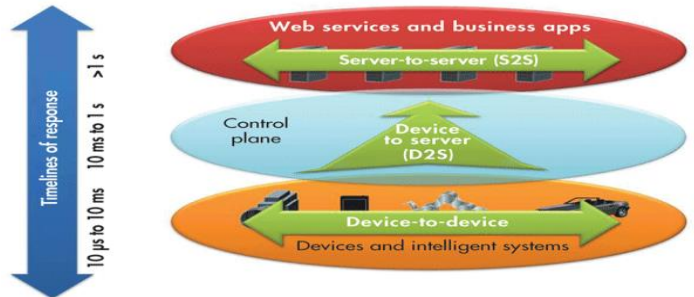
- ✓ Akıllı ev otomasyonu ve güvenlik uygulamalarında; evlerimizde kullandığımız aletlerin bir tablet ya da akıllı telefon aracılığı ile kontrol edilmesinde,
- ✓ Tarımsal üretimde; tarım arazilerinden bilgi toplayarak üretim miktarlarının ve kalitesinin artırılmasında, zararlılara karşı mücadelede ve hava koşullarına karşı önlemler alınmasında,
- ✓ Sağlık alanında; hastaların gözlenmesi, uzaktaki hastaların takibi, bakım gerektiren hastaların bakım maliyetlerinin düşürülmesi,
- ✓ Ulaşımında; akıllı trafik kontrolü, toplu taşıma sistemlerinin akıllı hale getirilmesi, şehir haritaları üzerinden GPS yoluyla takibi, tahmini varış sürelerinin hesaplanması, olarak gösterilebilir.

Şekil 1.1.'de Nesnelerin İnterneti teknolojilerinin kullanım alanları görsel olarak gösterilmiştir.



Şekil 1.1. Nesnelerin interneti uygulama alanları

Genel olarak bir IoT sistemi çevreden bilgi toplayan sensörler, toplanan sensör verilerini aktaran ağ ve alınan verileri işleyerek karar verme ve eyleme dönüştürme süreçlerini koordine eden işlem birimlerinden oluşur (Tan ve ark., 2010). Bir IoT ekosisteminde yer alan cihazlar birbirleriyle iletişim kurarken MQTT ya da XMPP gibi cihazdan-sunucuya (D2S), DDS gibi cihazdan-cihaza (D2D), AMQP gibi sunucudan-sunucuya (S2S) protokolleri kullanırlar (www.electronicdesign.com, 2021). Şekil 1.2.'de bu protokoller gösterilmiştir.



Şekil 1.2. Nesnelerin interneti iletişim protokolleri

## 2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada Nesnelerin İnterneti teknolojisi hakkında yapılmış çalışmaları ve bulguları inceleyerek konu ile ilgili temel bilgileri sunmak, veri merkezi izleme ve güvenliğini sağlama konusunda donanım ve yazılım bileşenlerinden oluşan örnek bir sistem tasarlanmıştır. Çalışmada python, web araçları,

SNMP, ısı-nem, hareket sensörleri ve kamera kullanılarak toplanan verilerin nesnelerin interneti teknolojileri kapsamında işlenerek diğer sistemlere aktarımı sağlanmıştır. Bu sayede sistem yöneticilerine veri merkezinde meydana gelebilecek fiziksel ve güvenlik olaylarını izleme ve takip etme olanağı sağlanmıştır.

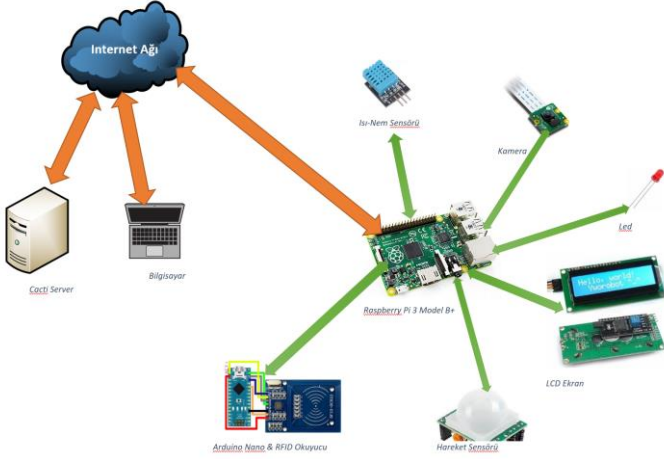
Bu çalışmada, Nesnelerin İnterneti teknolojisi ve kullanım alanları ile kamera, ısı-nem ve hareket sensörleri kullanarak veri merkezinin izlenmesi ve güvenliğinin sağlanması amacıyla örnek bir uygulama üzerinde durulmuştur.

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

#### 3.1. Sistemin Tasarımı

Bu bölümde hazırlanan sistemin tasarımı, raspberry pi 3 model b+, arduino nano, sensörler, LCD ekran, sensör verilerinin cacti ile izlenmesi, yazılım ve kodlamaya yer verilmektedir.

Şekil 3.1' de gösterilen sistemin donanımsal bileşenlerine ait bilgilere bu bölümde yer verilmiştir.



Şekil 3.1. Donanımsal bileşenler

##### 3.1.1. Raspberry Pi 3 Model B+

Avuç içi boyutunda olup üzerinde 4 adet USB bağlantı noktası, bir adet ethernet bağlantı noktası, kablosuz ağ (wi-fi), 1 adet HDMI bağlantı noktası, SD kart yuvası ve 40 adet Gpio pini bulunan bir geliştirme kartıdır (Varghese ve ark., 2019). Kart üzerinde entegre Cortex -A53 grafik işlemcisi ve 64-bit Broadcom BC2837 ARM-8 dört çekirdekli işlemci ana işlemci bulunur (Saluch ve ark., 2018). Microsoft Windows IoT ya da kendisi için geliştirilmiş Linux tabanlı Raspbian OS ile çalışabilir. Bu çalışmada Raspbian OS işletim sistemi kullanılmıştır. Çalışmada bu kartın tercih edilmesinin nedenleri olarak üretici firmanın lisanslı sitesinde bulunan tartışma forumlarındaki bilgi paylaşımı, sensörlerin kolaylıkla eklenmesi, web, veritabanı ve diğer uygulamalar için ek bir donanıma ihtiyaç duymaması ve tümleşik yapısı sıralanabilir.

##### 3.1.2. Arduino Nano

Raspberry Pi'ye göre daha küçük ATmega328 veya ATmega168 mikro işlemci tabanlı geliştirme kartıdır. Harici bir adaptöre ihtiyaç duymadan Mini USB kablo ile çalışabilir (store.arduino.cc, 2021). Çalışmada USB arayüzden bağlanan ve

RFID kart bilgilerini RC522 modül ile okuyup Raspberry Pi'ye aktaran bir kart okuyucu tasarımı amacıyla kullanılmıştır.

##### 3.1.3. Sensörler

DHT11 kendiliğinden kalibre edilmiş ortam ısısını ve nemini ölçen bir sensördür. İçerisinde NTC ısı ölçüm birimi ve nem ölçüm birimini barındırır. Üzerindeki 8 bit tek çipli mikro denetleyici ile hızlı, parazitsiz kaliteli ölçüm yapma imkânı sunar (Zhou ve ark., 2012). PIR sensörü üzerinde BISS0001 yongası bulunan ve pasif kızılötesi dalga yoluyla insan hareketlerini tespit eden bir sensördür. Üzerindeki yonga sayesinde analog olarak algılanan hareketi dijital çıktıya dönüştürür. Özel bir kütüphaneye ihtiyaç duymadan Python kodları yardımıyla bir anahtar gibi açma / kapama işlevlerini yerine getirir (Kaur ve ark., 2018). Çalışmada PIR sensörü tarafından algılanan hareket Python kodları ile sisteme bağlı USB kamerayı açarak ortamın fotoğrafını çekip sistem yöneticisine bilgi e – postası göndermek amacıyla kullanılmıştır.

##### 3.1.4. LCD Ekran

Bu çalışmada sensörlerden gelen sıcaklık ve nem verileri ile cihaza ait IP adresini göstermek için 16 karakter x 2 satır özelliğinde I2C LCD ekran kullanılmıştır. Şekil 3.2'de örnek bir görüntüye yer verilmiştir.



Şekil 3.2. I2C LCD Ekranda sıcaklık ve nem bilgilerinin gösterimi

##### 3.1.5. Sensör Verilerinin Cacti ile İzlenmesi

Sensör verilerinin izlenmesinde açık kaynak kodlu NMS olan Cacti kullanılmıştır. Cacti, Php, MySQL, RRD ve SNMP servislerini kullanarak cihazlardan topladığı verileri sistem yöneticilerine çeşitli grafik türleriyle sunan bir ağ izleme aracıdır. Sistem yöneticileri bilgisayar, tablet ya da akıllı telefondan erişerek bir takım yönetimsel işlemleri yerine getirebilir (Li ve ark., 2016). Sensör verilerinin Cacti tarafından SNMP protokolüyle okunabilmesi için Raspberry Pi üzerine SNMP modülü ve MIB (Management Information Base) bileşenleri de kurulmuştur. Şekil 3.3'te Cacti sunucusu üzerinde Raspberry Pi sensörlerinden ısı ve nem verisini alan konsol çıktısı gösterilmiştir.

```

root@cacti: ~
* Documentation: https://help.ubuntu.com/
System information as of Mon Nov 30 17:09:47 +03 2020
System load: 0.0      Processes:    63
Usage of /:  3.5% of 51.19GB   Users logged in:  0
Memory usage: 7%      IP address for eth0: 79.123.236.130
Swap usage:  0%

Graph this data and manage this system at:
https://landscape.canonical.com/

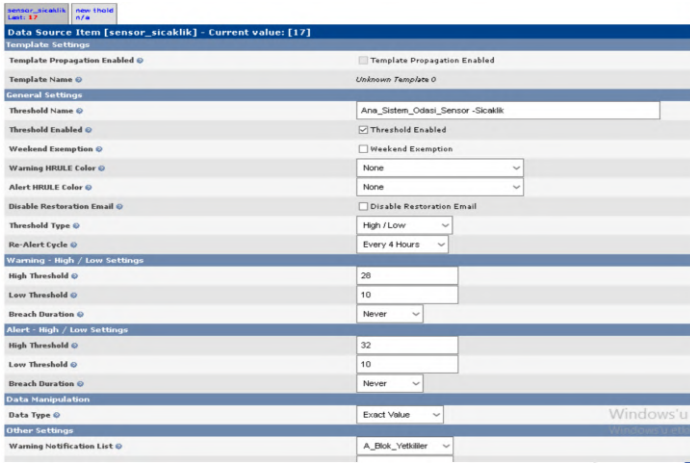
153 packages can be updated.
125 updates are security updates.

Last login: Mon Aug 26 15:08:49 2019 from 10.10.60.90
root@cacti:~#
root@cacti:~#
root@cacti:~#
root@cacti:~# snmpget -c public -v1 10.10.60.61 iso.3.6.1.2.1.25.1.8.1
iso.3.6.1.2.1.25.1.8.2 = Gauge32: 23
root@cacti:~# snmpget -c public -v1 10.10.60.61 iso.3.6.1.2.1.25.1.8.2
iso.3.6.1.2.1.25.1.8.1 = Gauge32: 33
root@cacti:~#

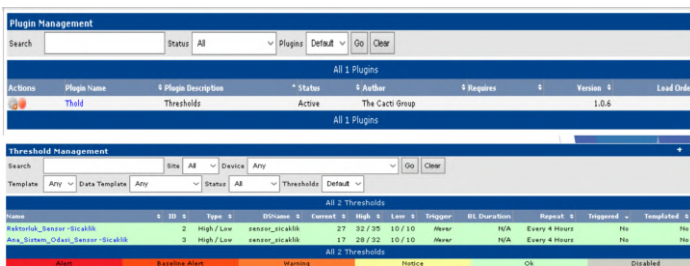
```

Şekil 3.3. SNMP ile sensör verilerinin konsol çıktısı görünümü

Cacti sunucusu üzerinde sensör verilerinin anlamlı bir şekilde görüntülenmesi ve sensörlerden gelen verilerin belirlenen eşik değerlerden yüksek olması durumunda sistem yöneticisine e-posta gönderilmesi olayını tetikleyecek şablonlar tanımlanmıştır. Örnek şablonlar Şekil 3.4 ve Şekil 3.5’te gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Sıcaklık ve nem şablonlarının cacti sunucusunda tanımlanması

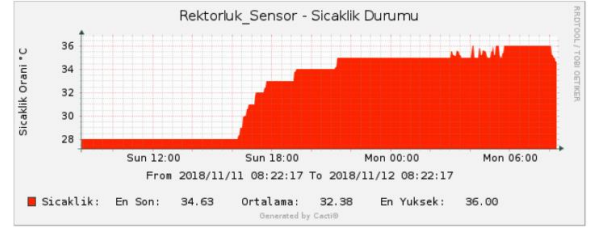


Şekil 3.5. Alarm şablonlarının cacti sunucusunda tanımlanması

Şekil 3.5’te oluşturulan alarmlar ortamdaki ısı ve nem değişikliğini Raspberry Pi’den aldığı verilerle karşılaştırır. Isı değerleri belirlenen düzeyin üzerine çıktığında sunucu üzerinde çalışan ve elektronik posta sunucusu ile iletişim kuracak şekilde ayarlanmış SMTP protokolünü kullanarak sistem yöneticisine bu durumu rapor eden bir e-posta gönderir. Sistem tarafından gönderilen e-posta örneği Şekil 3.6’da gösterilmiştir.

ALERT -> WARNING: Rektorluk\_Sensor -Sicaklik Changed to Warning Threshold with Value 34

Device: Rektorluk\_Sensor (10.10.60.20)  
 URL: [Link to Graph in Cacti](#)  
 Message: ALERT -> WARNING: Rektorluk\_Sensor -Sicaklik Changed to Warning Threshold with Value 34



Şekil 3.6. Sistem tarafından gönderilen alarm e-posta içeriği

### 3.2. Yazılım ve Kodlama

Bu çalışmada sistemin ana bileşeni olan Raspberry Pi kartına Debian tabanlı Raspbian OS işletim sistemi kurulmuştur. Sensörlerden veri almak ve alınan verileri kullanarak işlem yapmak amacıyla kullanılan scriptler için Python programlama dilinden yararlanılmıştır. Isı ve nem sensörlerinden ortam değerlerini alabilmek amacıyla Python Adafruit DHT kütüphanesi kullanılmıştır. DHT11 sensöründen veri okuma belirli bir sinyal protokolü gerektirdiğinden bu kütüphanenin kullanımı veri okumayı kolaylaştırır (Zhou ve ark., 2020). Isı ve nem bilgilerini okuyarak SNMP verisine dönüştüren örnek Python kodları aşağıda gösterilmiştir.

#### 3.2.1. Isı Kodu

```

#!/usr/bin/python3
import sys
import Adafruit_DHT

humidity, temperature = Adafruit_DHT.read_retry(11,4)

if humidity is not None and temperature is not None:
    print('1.3.6.1.2.1.25.1.8.2')
    print('gauge')
    print('{0:0.1f}'.format(temperature))
else:
    print("Veri okunurken hata oluştu. Lütfen Tekrar Deneyiniz!")
    sys.exit(1)

```

#### 3.2.2. Nem Kodu

```

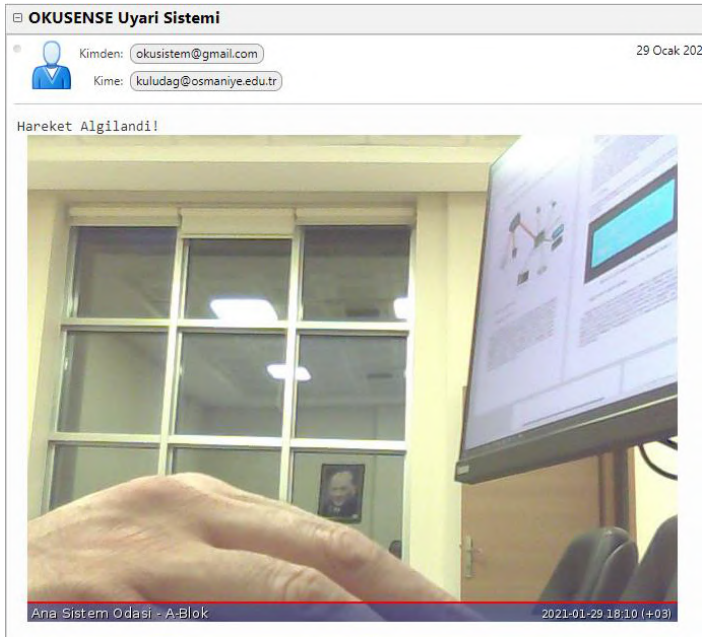
#!/usr/bin/python3
import sys
import Adafruit_DHT

humidity, temperature = Adafruit_DHT.read_retry(11,4)

if humidity is not None and temperature is not None:
    print('1.3.6.1.2.1.25.1.8.1')
    print('gauge')
    print('{0:0.1f}'.format(humidity))
else:
    print("Veri okunurken hata oluştu. Lütfen Tekrar Deneyiniz!")
    sys.exit(1)

```

Veri merkezinin güvenliğini sağlamak amacıyla izole edilen ortama giriş çıkış yapan kişilerin kameradan anlık görüntüsünü almak amacıyla fswebcam kütüphanesi kullanılmıştır. İlgili kütüphaneye ait yordamı tetikleme amacıyla da PIR sensöründen istifade edilmiştir. GPIO pinlerine bağlı olan PIR sensörü hareketi algıladığında dijital bir veri gönderir. Sistem arka planda sürekli olarak çalışmakta olan Python kodları aracılığıyla gelen bu veriyi algılar ve fswebcam yordamını çalıştırır. Çalışan bu yordam sisteme USB arayüzünden bağlı kameralara ulaşarak ortamın anlık görüntüsünü JPEG formatında kaydeder. Kaydedilen bu dosya başka bir Python scripti vasıtasıyla sistem yöneticisine e-posta olarak gönderilir. Aşağıda örnek kodlar verilmiştir. Ayrıca sistemin gönderdiği e-posta ile ilgili ekran görüntüsü de Şekil 3.7'de gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Sistem tarafından gönderilen anlık ortam fotoğrafına ait e-posta içeriği

### 3.2.3. PIR Sensörü Yardımıyla Ortam Görüntüsünü Alan Kod Örneği

```
import RPi.GPIO as GPIO
import time
import os

GPIO.setmode(GPIO.BCM)
PIR_PIN = 17
GPIO.setup(PIR_PIN, GPIO.IN)

while True:
    time.sleep(0.1)
    if GPIO.input(PIR_PIN):
        os.system("fswebcam -d /dev/video0 -S 2 -s brightness=60% -s Contrast=15% -s Gamma=50% -p YUYV -r 1280x720 --jpeg 80 -s Sharpness=40% -s Saturation=15% --title 'Ana Sistem Odası - A-Blok' /usr/local/bin/hareket/webcamcapture.jpg")
        time.sleep(3)
        os.system("python /usr/local/bin/hareket/sendmail.py")
        time.sleep(60)
```

### 3.2.4. Alınan Görüntüyü Sistem Yöneticisine E – Posta Gönderen Kod Örneği

```
import time
import smtplib
import subprocess
from email.MIMEText import MIMEText
from email.MIMEImage import MIMEImage

fromaddr = "xxxxx@gmail.com"
toaddr = "xxxxx@osmaniye.edu.tr"
msg = MIMEText("Hareket Algılandı!")
msg['From'] = fromaddr
msg['To'] = toaddr
msg['Subject'] = "OKUSENSE Uyarı Sistemi"

fp = open("/usr/local/bin/hareket/webcamcapture.jpg", 'rb')
img = MIMEImage(fp.read())
fp.close()

body = "Hareket Algılandı!"
msg.attach(MIMEText(body, 'plain'))
msg.attach(img)

server = smtplib.SMTP('smtp.gmail.com', 587)
server.starttls()
server.login(fromaddr, "password")
text = msg.as_string()
server.sendmail(fromaddr, toaddr, text)
server.quit()
time.sleep(1)
```

## 4. Sonuç

Günümüzde teknoloji ve iletişim ağlarında yaşanan gelişmeler neticesinde insan-makine etkileşimi kavramı popülerliğini artık makine-makine etkileşimi kavramına bırakmıştır. Makinelerin birbirleriyle etkileşime girerek özellikle yapay zekâ teknolojilerindeki gelişmelerin ışığı altında kendi kendine karar verme, birbirleriyle ortak bir dil kullanması ve yapay sinir ağları vasıtasıyla öğrenmesi günümüz teknolojisinde her ne kadar henüz emekleme aşamasında da olsa çok büyük ve devrim niteliğindeki gelişmeler olarak tarihe geçeceği aşikardır.

Makine-makine etkileşiminde sensörler kuşkusuz büyük bir öneme sahiptir. Son yıllarda özellikle bu teknolojilerin ucuz mal edilmesi ve basitleştirilmesi kullanmakta olduğumuz alet ve makinaların yani nesnelere birbirleriyle olan iletişimini de artırmıştır. Nesnelere İnterneti olarak adlandırılan bu kavram teknolojiye bir devrim niteliğindedir. Sanayide, tarımda, sağlık alanında, eğitimde, ulaşımda, kişisel ürünlerde, akıllı ev ve otomasyon sistemlerinde, otomotiv sektöründe sıklıkla kullanılmaktadır. Endüstri 4.0 dediğimiz çağımızın sanayi devriminin gerçekleşmesindeki esas oyuncularından biri haline gelen nesnelere İnterneti özellikle mobil ağlarda yaşanan gelişmeler de dikkate alındığında hayatımızın her alanında daha çok yer alacaktır.

Bu çalışmada nesnelerin interneti teknolojisini kullanarak bir veri merkezindeki sensörler yardımıyla ortam verilerini toplayıp işleyerek sistem yöneticisine ya da başka bir sisteme gönderen bir prototip sistem tasarlanmıştır. Sistemde Raspberry Pi 3 B+ model arm-8 dört çekirdekli 64 bit işlemcili geliştirme kartı ve bazı sensörler kullanılmıştır. Çalışma sonunda tasarlanan prototipe ait nihai görüntü Şekil 4.1'de gösterilmiştir. Çalışmada bir veri merkezinin izlenmesinde ucuz, tek bir sistem üzerinde birçok sensör verilerinin toplandığı, bu verileri diğer sistemlerle paylaşabilen bir sistem tasarlamak amaçlanmıştır. Sonraki çalışmalar için ise sistem üzerine yapay zekâ ve yapay sinir ağları teknolojilerini entegre ederek sistemin kendi başına karar vermesini, aksiyon almasını sağlamak önerilmektedir.



Şekil 4.1. Çalışma sonucunda geliştirilen prototip model

## Kaynakça

- Baz, F. Ç. (2018). New Trends in E – Learning. Trends in E – Learning (Ed. Mahmut Sinecen). Intechopen: London.
- Carrillo, E., Benitez, V., Mendoza, C., & Pacheco, J. (2015). IoT framework for smart buildings with cloud computing. *2015 IEEE First International Smart Cities Conference (ISC2)*, Guadalajara, pp. 1-6. doi: 10.1109/ISC2.2015.7366197.
- Dudhe, P. V., Kadam, N. V., Hushangabade, R. M., & Deshmukh, M. S. (2017). Internet of Things (IOT): An overview and its applications. *International Conference on Energy, Communication, Data Analytics and Soft Computing (ICECDS)*, Chennai, pp. 2650-2653, doi: 10.1109/ICECDS.2017.8389935.
- Hammami, A. (2019). Smart Environment Data Monitoring. *2019 International Conference on Computer and Information Sciences (ICCIS)*, Sakaka, Saudi Arabia, pp. 1-6, doi: 10.1109/ICCISci.2019.8716469.
- <https://www.electronicdesign.com/technologies/iot/article/21798493/understanding-the-protocols-behind-the-internet-of-things>, 2021.
- <https://www.ericsson.com/en/reports-and-papers/white-papers/cellular-networks-for-massive-iot--enabling-low-power-wide-area-applications>, 2021.
- <https://store.arduino.cc/usa/arduino-nano>, 2021.
- [https://tr.wikipedia.org/wiki/Nesnelerin\\_interneti](https://tr.wikipedia.org/wiki/Nesnelerin_interneti), 2021.
- Kaur, B., Pateriya, P. K., & Rai, M. K. (2018). An Illustration of Making a Home Automation System Using Raspberry Pi and PIR Sensor. *International Conference on Intelligent e-ISSN: 2148-2683*
- Circuits and Systems (ICICS)*, Phagwara, pp. 439-444, doi: 10.1109/ICICS.2018.00095.
- Keertikumar M., Shubham M. & Banakar, R. M. (2015). Evolution of IoT in smart vehicles: An overview. *2015 International Conference on Green Computing and Internet of Things (ICGCIoT)*, Noida, pp. 804-809, doi: 10.1109/ICGCIoT.2015.7380573.
- Li, C. C., Ji, Z. S., Wang, F., Wang, P., Wang, Y., & Zhang, Z. C. (2016). The network monitoring system based on Cacti for EAST. *IEEE-NPSS Real Time Conference (RT)*, Padua, pp. 1-5, doi: 10.1109/RTC.2016.7543086.
- Liu, Q., Ma, Y., Alhussein, M., Zhang, Y., & Peng, L. (2016). Green data center with IoT sensing and cloud-assisted smart temperature control system. *Computer Networks* 101, pp. 104-112, doi:10.1016/j.comnet.2015.11.024.
- Romkey, J. (2017). Toast of the IoT: The 1990 Interop Internet Toaster. *IEEE Consumer Electronics Magazine*, 6(1), pp. 116-119, doi: 10.1109/MCE.2016.2614740.
- Saluch, M., Tokarski, D., Gruniewicz, T., Chodyka, M., Nitychoruk, J., Wolinski, P., & Adamczewski, G. (2018). Raspberry Pi 3B+ microcomputer as a central control unit in intelligent building automation management systems. In *MATEC Web of Conferences*. 196, p. 04032. EDP Sciences.
- Tan, L., & Wang, N. (2010). Future internet: The Internet of Things. *3rd International Conference on Advanced Computer Theory and Engineering (ICACTE)*, Chengdu, pp. V5-376-V5-380, doi: 10.1109/ICACTE.2010.5579543.
- Varghese, L., Deepak, G., & Santhanavijayan, A. (2019). An IoT Analytics Approach for Weather Forecasting using Raspberry Pi 3 Model B+, *Fifteenth International Conference on Information Processing (ICINPRO)*, Bengaluru, India, pp. 1-5, doi: 10.1109/ICInPro47689.2019.9092107.
- Zhou, Y., Zhou, Q., Kong, Q., & Cai, W. (2012). Wireless temperature & humidity monitor and control system. *2nd International Conference on Consumer Electronics, Communications and Networks (CECNet)*, Yichang, pp. 2246-2250, doi: 10.1109/CECNet.2012.6201725.
- Zhou, K., & Yuan, Y. (2020). A Smart Ammunition Library Management System Based on Raspberry Pie. *Procedia Computer Science*. 166, pp.165-169, doi:10.1016/j.procs.2020.02.041.





# Katı Atık Kullanımına Estetik Bir Çözüm Önerisi: Adıyaman İlindeki Mermer Atıklarından Antik Mozaik Üretimi

Yaprak Tanrıverdi<sup>1\*</sup>, Erhan Akça<sup>2</sup>, Sabahattin Ezer<sup>3</sup>, Osman Dolaş<sup>4</sup>, Hülya Ak<sup>5</sup>, Tanju Teker<sup>6</sup>

<sup>1\*</sup> Adıyaman Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, El Sanatları Bölümü, Adıyaman, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-3527-5162), [yapraktanriverdi@gmail.com](mailto:yapraktanriverdi@gmail.com)

<sup>2</sup> Adıyaman Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, El Sanatları Bölümü, Adıyaman, Türkiye (ORCID: 0000-0001-8988-4196), [eakca@adiyaman.edu.tr](mailto:eakca@adiyaman.edu.tr)

<sup>3</sup> Adıyaman Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Arkeoloji Bölümü, Adıyaman, Türkiye (ORCID: 0000-0002-9244-5802), [sabahattinezer@yahoo.com](mailto:sabahattinezer@yahoo.com)

<sup>4</sup> Adıyaman Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, El Sanatları Bölümü, Adıyaman, Türkiye (ORCID: 0000-0002-2979-636X), [osmandolas@gmail.com](mailto:osmandolas@gmail.com)

<sup>5</sup> Adıyaman Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, El Sanatları Bölümü, Adıyaman, Türkiye (ORCID: 0000-0002-4778-3095), [hak@adiyaman.edu.tr](mailto:hak@adiyaman.edu.tr)

<sup>6</sup> Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği Bölümü, Sivas, Türkiye (ORCID: 0000-0001-7293-0723), [tanjuteker@cumhuriyet.edu.tr](mailto:tanjuteker@cumhuriyet.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 18 Kasım 2020 ve Kabul Tarihi 10 Eylül 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.827241)

**ATIF/REFERENCE:** Tanrıverdi, Y., Akça, E., Ezer, S., Dolaş, O., Ak, H. & Teker, T. (2021). Katı Atık Kullanımına Estetik Bir Çözüm Önerisi: Adıyaman İlindeki Mermer Atıklarından Antik Mozaik Üretimi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (27), 407-411.

## Öz

Günümüzde küresel boyutta doğal kaynak kullanımı sonucu ciddi düzeyde atık materyal açığa çıkmaktadır. Özellikle biyolojik olarak ayrıştırılamayan mermer ve granit benzeri katı atıklar çevresel sorunlara yol açmaktadır. Bu materyallerin yeniden kullanımı ekonomiye katma değer katması kadar çevre kirliliğinin önlenmesi için çözümcü bir yaklaşım olarak değerlendirilmelidir. Türkiye blok mermer ihracatında dünyada ön sıralarda yer almaktadır. Blok mermer üretimi ortalama %5-10 verimle gerçekleştiğinden pasa olarak adlandırılan atık mermerin depolanması önemli çevre sorunlarına yol açmaktadır. Söz konusu sorunun, atıkların yeniden değerlendirilmesi yoluyla giderilmesinin sınırlı olan doğal kaynakların üstündeki insan baskısının azalmasına olumlu katkı yapacağı çeşitli çalışmalarda ortaya konulmuştur. Atık mermerin başta inşaat olmak üzere aralarında tarımında olduğu çeşitli kullanımına yönelik çalışmalar yapılmıştır. Ancak estetik açıdan çok geniş renk yelpazesine sahip atık mermerin görsel kullanımı şu anki bilgimiz dâhilinde çalışılmamış bir konu olarak görülmektedir. Atık mermerlerin farklı bir yaklaşımla değerlendirilmesini öngören çalışma Adıyaman ilinde çokça açığa çıkan atık mermerden mozaik eserler üretiminin yapılmasını kapsamaktadır. Adıyaman ili ve çevresi Antik dönem krallıklarından olan Kommagene Krallığı ve Roma kültüründen kaynaklanan zengin antik mozaikleriyle tanınan bir bölgedir. Bu nedenle üretimi gerçekleştirilen mozaikler antik dönem mozaik tasarımlarından ilham alınarak günümüz katı atıklarıyla yeniden üretilmiş, yerel atıklardan elde edilemeyen renkler için inşaat atığı olarak açığa çıkan cam mozaikler kullanılmıştır. Bir yıl süren ayrıntılı desen ve üretim boyutlarında gerçekleştirilen denemeler sonucunda bölgedeki atık mermerlerin renk sınırlamaları nedeniyle yakın illerdeki farklı renklere sahip mermer atıklarının da kullanılabilceği saptanmıştır. Sonuçta bu çalışmada doğal ve endüstriyel atıkların kültürel mirası temsil edecek mozaik üretiminde kullanılmasıyla bölgede işsizliğin yaygın olduğu kadınlara yönelik özellikle turizmi ve inşaat sektörünü hedefleyen yeni ve estetik bir iş alanı önerisi geliştirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Mermer atığı, Mozaik, Kültürel miras, İstihdam, Cinsiyet eşitliği, Adıyaman.

## An Aesthetic Solution to Solid Waste Use: Ancient Mosaic Production from Marble Waste in Adıyaman Province

### Abstract

Today, as a result of the use of natural resources on a global scale, a serious amount of waste material is produced. In particular, solid wastes such as marble and granite that cannot be biodegradable cause environmental problems. The reuse of these materials should be considered as a solution-oriented approach to prevent environmental pollution as well as adding value to the economy. Turkey is high ranked in marble export globally. As block marble production takes place with an average of 5-10% efficiency, storage of waste marble causes important environmental problems. It has been demonstrated in various studies that the problem in question will be positively contributed to the reduction of human pressure on natural resources, which is limited by recycling the wastes. Studies have been carried out for various uses of waste marble especially in construction and other areas including agriculture. However, the visual use of waste marble with a wide aesthetic color range is not studied yet to our current knowledge. In this context, the study involves the production of mosaic works made from waste marble, which is widely discarded in Adıyaman province. The province of Adıyaman and its surroundings is a region known for its exquisite antique mosaics originating from the ancient Hellenistic Commagene Kingdom and Roman period cultures. Therefore; sample mosaics were inspired by the ancient Roman designs and glass mosaics that were produced as construction waste were used for the colors that could not be obtained from local solid wastes. As a

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

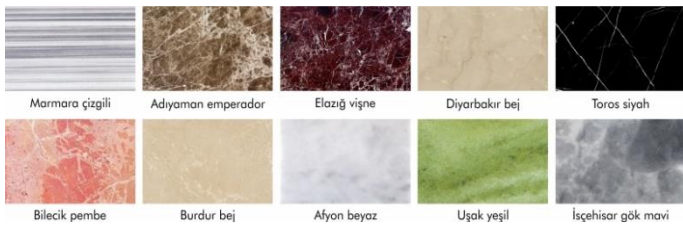
result of the experiments carried out in detailed patterns and production dimensions that lasted for a year, it was determined that marble wastes of different colors in the nearby provinces can be used due to the color limitations of the waste marbles in the region. To conclude, in this study, a new and aesthetic business proposal targeting tourism and construction sector was developed for women, where unemployment is common in the region, by using natural and industrial wastes in mosaic production to represent cultural heritage.

**Keywords:** Marble waste, Mosaic, Cultural heritage, Employment, Gender equality, Adıyaman.

## 1. Giriş

Türkiye jeolojik yapısı nedeniyle taş ocaklarının yaygın dağılım gösterdiği ülkeler arasındadır (Kazancı ve Gürbüz, 2014, s. 19). Söz konusu jeolojik zenginlik aynı zamanda tarih boyunca Anadolu'da taşların mimaride yoğun kullanılmasına neden olmuştur. Renk ve doku ile sağlamlık açısından seçkin bir kayaç olan mermer belki de Anadolu'nun en yaygın kullanılmış olan kayacıdır (Bruno ve ark. 2012, s. 403). Mermer, tarihsel süreçte villalar ve önemli kamu binalarının yanı sıra dönemin heykel, rölyef ve mozaik gibi görseelliğin öne çıktığı eserlerinde de yaygın olarak kullanılmıştır. Özellikle Roma İmparatorluğu Döneminde Anadolu'nun çeşitli yerlerinden imparatorluğun farklı bölgelerine mermer gönderildiği bilinmektedir (Perkins, 1951, s. 97). Bu olgu günümüzde de devam etmekte olup, Türkiye dünyaya büyük hacimli blok mermer ihraç etmeye devam etmektedir. Ancak üretim %5-10 arasında verimlilikle gerçekleştiğinden bu mermerlerin üretimi nedeniyle ülkede yüksek düzeyde atık mermer ortaya çıkmaktadır (Çelik ve Sabah, 2008, s. 109).

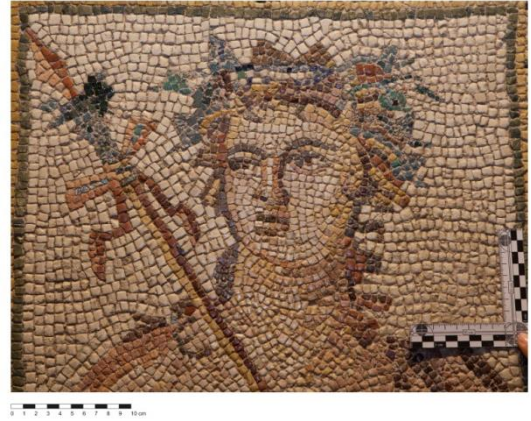
Atık mermerin kullanımına yönelik birçok araştırma yapılmış ve başta inşaat olmak üzere aralarında tarımın da olduğu birçok alanda kullanılabilirliği ortaya konmuştur (Gencil ve ark. 2012, s. 62; Büyük ve ark. 2017, s. 167). Ancak mevcut kullanımlardan hiçbiri mermer katı atıklarının renk ve dokusundan kaynaklanan estetik özelliklerini değerlendirmemiştir. Mermer jeolojik oluşum özelliklerine bağlı olarak farklı renk ve doku özellikleri göstermektedir. Renk oluşumunda kayaçtaki safsızlıklar olarak tanımlanan demir oksitler sarı, sarımsı veya kırmızı renkleri verirken manganez oksitler ve karbon içerikleri koyu mavimsi, mor veya siyah renkteki mermerleri oluşturmaktadır (Garcia-Valles ve ark. 2000: s. 222). Metamorfizma nedeniyle mermer kütleleri çeşitli yapısal değişimler geçirerek fiziksel ve kimyasal değişim göstermektedir. Yapısal kusurlar olarak adlandırılan bu değişimler damarlı ve değişik kristal boyutlu kayaç oluşumuna yol açar. Bu da mermere dokusal ve morfolojik özgünlük kazandırır (Gökay ve Gündoğdu, 2008, s. 1343). Türkiye bu açıdan geniş bir renk ve doku özelliklerindeki mermerlere sahiptir (Şekil 1).



Şekil 1. Türkiye'deki Bazı Mermer Renkleri

Anadolu mermerlerindeki renk ve doku çeşitliliği Anadolu kültürel mirasının önemli bir kısmını oluşturan estetik mozaik koleksiyonlarının üretilmesine olanak sağlamıştır. Doğal taşların kesilmesiyle (tessera) üretilen çok renkli ve hassas işçilikli

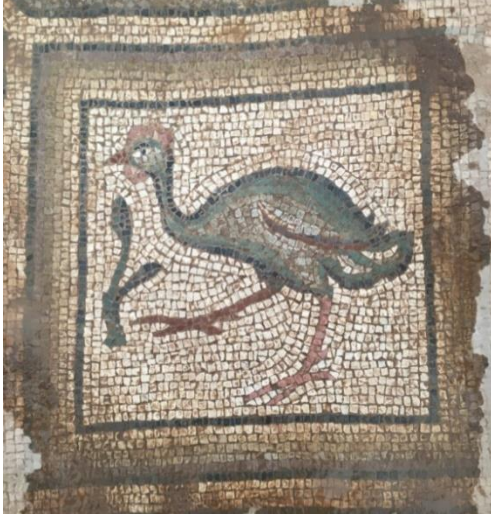
Zeugma (Gaziantep), Antioch (Hatay), ve Edessa (Şanlıurfa) mozaikleri bunların başlıca örneklerindedir (Tanrıverdi ve ark. 2018, s. 406). Örneğin Zeugma mozaik müzesindeki Dionysos büst mozağinde baskın düzeyde yerel doğal kayaçların kullanımı yanı sıra odak noktası olan diadem (taç) ve thyrsusta (kozalak süslü değnek) mavi-yeşil tonlarında cam mozaik kullanımı hassas ve detaylı işçiliğin göstergeleridir (Şekil 2). Zeugma'yı da içine alan Antik Kommagene krallığında ve sonrası Roma yerleşimlerinde büyük olasılıkla Fırat Nehri ve yerel kökenli kayaçların kullanımı ile geniş renk skalasına sahip çok sayıda mozaik üretilmiştir (Abadie-Reynal, 2002, s. 750).



Şekil 2. Dionysos Büst Mozaïği, Gaziantep Zeugma Mozaik Müzesi

Adıyaman ili Zeugma gibi Kommagene krallığı bölgesinde ve Fırat Nehri'nin kıyısında yer almaktadır. Paleolitik çağdan günümüze kesintisiz yerleşim bölgesi olduğundan kutsal tapınaklardan kerpiç evlere sayısız kültürel yapıya sahiptir. Bunlar arasında yerel kayaçlar kullanılarak üretildiği düşünülen mozaikler önemli yer tutmaktadır. Kapsamlı kazılar sayılı olsa da, bölgenin tarihsel zenginliği ulusal ve uluslararası turizm açısından büyük bir potansiyele sahiptir. Nemrut Dağı, Arsameia ören yeri, Perre (Pirin) nekropolü vb. yoğun ilgi çeken arkeolojik alanlardır. Adıyaman'da antik dönemde refahın göstergesi sayılabilecek ve sınırlı sayıda kazılarda yüzeye çıkan mozaiklerde kullanılan taşlar (Şekil 3) bölgedeki zengin jeolojiden kaynaklı (Perinçek, 1979, s. 46) taş yataklarına işaret etmektedir. Mozaik yapımında kimi renklerin (mavi) doğal taşlardan sağlanması bunların camdan üretilerek kullanılmasına yol açmıştır. Adıyaman'ının seramik üretimi açısından uzun bir geçmişi olduğundan hemen hemen benzer teknoloji ile üretilen camın da yerel üretiminde yapıldığı ileri sürülebilir. Zeugma kentinde bulunan mozaiklerin bazılarında, Samosata'lı (Eski Samsat) ustaların imzasının bulunması ise bu bölgenin antik çağdaki üretimine ve mozaik atölyelerinin varlığını desteklemektedir (Blömer ve Winter, 2011, s. 245). Bu bölgede antik dönemde yüksek bir değer olan ancak sonrası yüzyıllarda ve günümüzde neredeyse tamamen unutulmuş olan mozaik sanatını yeniden canlandırmak, kentin turizm potansiyeline katkısı yanında, mozaik üretiminin fiziksel olarak ağır işçilik gerektirmemesi günümüzde istihdam sıkıntısı yaşayan

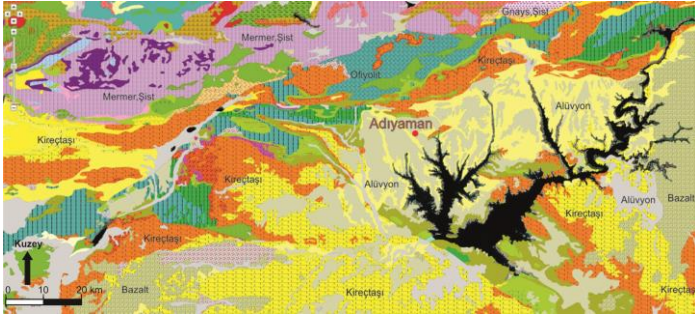
kadınlarımıza yeni bir gelir kaynağı alanı yaratabilecektir. Çünkü 1990'ların ortasından beri yürütülen Güneydoğu Anadolu Projesi "Kadının Statüsü ve Kalkınma Sürecine katılımını" amaçlamaktadır. Bu çalışma söz konusu yaklaşıma uygun olduğundan kadınların mozaik üretmesini hedeflemesi açısından karar vericiler için yararlı olacağına inanılmaktadır. Sonuçta yoğun olarak katı mermer atıkları kullanılacağı mozaik üretimin yeniden hayata geçirilmesi için bir ön çalışma olan bu araştırma sadece Adıyaman değil arkeolojik açıdan varıl tüm Güneydoğu Anadolu'da kültürel mirasın yaşatılıp geliştirilmesi, çevre koruma ve kırılgan kesim olan kadınlar için yeni gelir kaynağı yaratması açısından farkındalık yaratacağı düşünülmektedir.



Şekil 3. Adıyaman'daki Perre Antik Kenti Kazısında Çıkarılan Mozaikten Bir Detay

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Materyal



Şekil 4. Adıyaman İli ve Çevresinde Kireçtaşı ve Mermer Dağılımı (<http://yerbilimleri.mta.gov.tr/anasayfa.aspx> web adresinden değiştirilerek)

Adıyaman ili ve çevresinde kireçtaşı ve mermer yaygın olarak bulunmaktadır (Şahin ve Işık, 2010, s. 129- Şekil 4). Bu nedenle bölgede faaliyet gösteren çok sayıda mermer ocakları bulunmaktadır (Şekil 5). Mermer üretiminde mermerin kesilmesi sırasında makinelerin kesme işlemini yapan testerelerin ağzından çıkan mermer atıkları oluşmaktadır. Adıyaman'da yapılan mermer işleme sonucunda oluşan yıllık atık miktarının 90.000 ton olduğu bilinmektedir (Büyüç ve ark, 2017, s. 167). Bu atıklar herhangi bir geri kazanım işlemi yapılandır doğrudan doğaya bırakılmaktadır. Mermer üreticileri için sıkıntı yaratan bu mermer atıkları değerlendirmek için öncelikle yerel üreticiler

ziyaret edilmiş, elde kesime olanak sağlayacak kalınlıktaki ve farklı renklerdeki mermerler toplanmıştır (Şekil 6). Adıyaman ilinde yaygın olarak bulunan bir mermer türü olan emperadorun açık, orta ve koyu renkli üç farklı çeşidi bulunmaktadır.



Şekil 5. Adıyaman Bölgesi Arı ve Beden Madencilik Mermer Ocakları

Kesime uygun boyutlu mermer atıkları elle toplandıktan sonra, bir renk skalası çıkarılmıştır. Mozaik yapımında gerekebilecek ancak yerel mermer atıklarından elde edilemeyen vişne ve siyah renk grupları başka yörelere ait mermer atıklarından ve bölgeye ait diğer yerel kayalardan (siyah ve gri için bazalt, yeşil için ofiyolit vb.) tamamlanmaya çalışılmıştır. Antik dönemden bilindiği üzere, bu bölgede Fırat Nehri'ndeki kayalarda eksik olan renkler, zamanında kurulmuş cam atölyelerinde elde edilen cam tesseralarla tamamlanmıştır. Bundan dolayı bu çalışmada doğal taşlardan elde edilemeyen mavi, yeşil ve kırmızıdan oluşan eksik renkler ise inşaat alanlarındaki atık cam mozaik parçaları kullanılarak tamamlanmıştır. Prototip oluşturacak mozaikler, Roma dönemi mozaiklerinden seçilmiştir. Taş kesimlerinin uygunluğunu test etmek için, geometrik ve figüratif desenli mozaikler tercih edilmiştir.

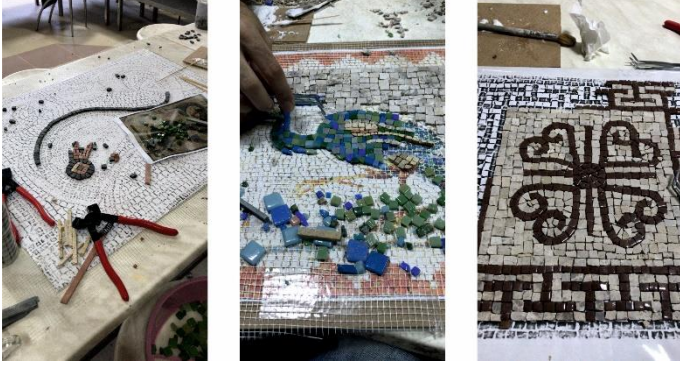


Şekil 6. Üretim Sonrası Açığa Çıkan Atık Mermerler

### 2.2. Metot

Çalışmada mozaik üretimi direkt metot olarak tanımlanan, tesseraların direk yüzey üzerine yapıştırılması ile elle gerçekleştirilmiştir. Deneme üretimi planlanan mozaikler, Anadolu'da mozaik sanatının doruğuna ulaştığı Roma dönemine ait mozaiklerdir. Farklı coğrafyalardaki Roma konutlarında yer alan, uygulanabilir motifler seçilmiştir (Halikarnas, Türkiye; Aya Trias, Sipahi, Kuzey Kıbrıs; Italica, Sevilla, İspanya vb.). Mozaiklerdeki desen ve figürlerin daha belirgin olması başka bir tanımla incelikli/detaylı çalışmak amacıyla tessera boyutları 1cm'den küçük olacak şekilde ozalit çıktıları alınmıştır. Duralitten oluşan zemin üzerine çıktısı alınan mozaik görseli yapıştırılmıştır. Görsel üzerine plastik bir koruyucu katman gerilmiştir. Daha sonra dayanımı arttırmak için mozaik filesi üzerine tesseralar yapıştırılmıştır. Mozaik üretiminde kullanılacak atık materyalden elde edilen ve en büyüğünün çapı

İcm olan materyallerin yapıştırılması için su bazlı tutkal kullanılmıştır. Desen ve figürlerin tamamlanması için gerektiğinde materyaller değişik başlı kesiciler ve çekiç kullanılarak kırılmıştır (Şekil 7).



Şekil 7. Roma Dönemi Geometrik ve Figüratif Mozaiklerin Uygulanması

Mozaik yapımında incelik ve zaman gerektiren olgu taşların/materyalin istenilen şekle uygun boyuta getirilmesi için kırılmasıydı. Bununla birlikte kesici ve kırıcı alet kullanıldığından gerekli iş güvenliği önlemlerin alınmasına özen gösterilmiş eldiven, gözlük ve önlük kullanılmıştır. Gelişigüzel bir kırım istenilen şekilleri vermeyeceği için, bu aşamada gereken işgücü oldukça fazlaydı. Mozaik yapımında bir kişi figür olmayan 10x10 cm'lik bir alanı taş kırma ile birlikte bir buçuk- iki saat arasında tamamlamıştır. Söz konusu bu alanda figür ve desen varsa taş boyutu 0,2cm'de değin küçüldüğünden hazırlama süresi artmıştır. Mozaikler kurduktan sonra yüzeyi vernikle parlatılıp son haline getirilmiştir.

Eski dönemde mozaikler daha çok zemine veya duvara uygun bir harçla sabitlenirken günümüzde tesseraların kenarlarından kaymasını veya kırılmasını önlemek için bir çerçevede içinde üretilmektedir. Bu çerçeve, mozaığın boyutuna, şekline ve amaçlanan amacına bağlı olarak ahşap, metal, beton veya istifa gibi çeşitli malzemelerden yapılabilmektedir. Bu çalışmada ise turizm amaçlı üretim için hafifliği ve doğallığı nedeniyle ahşap çerçeve tercih edilmiştir. Örnek üretimde tesseralar orijinaline uygun şekil ve büyüklükte kesilmiştir. Bundan dolayı 10x10 cm'lik figüratif olmayan bir alan için taşların kırılmasıyla birlikte 1-1,5 saat harcanmıştır.

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma



### Şekil 8. Roma Dönemi Villa Örneklerinden Seçilen Kuş Motifi Reprodüksiyonu

Çalışmanın gerçekleştiği Adıyaman, yoğun inşaat faaliyetlerinin olduğu gelişmekte olan bir bölgedir. Mozaik üretimi için kullanılan renkler belirlenip uygun renkte taş seçimi ve kırımı yapılarak tesseralar hazırlanmıştır. Renk skalasında eksik olan renkler için, yerel mermer atıklarının dışındaki inşaatla kullanım fazlası olan ve başka bir yerde kullanılmaması için atılan ve estetik anlamda (parlaklık, matlık, renk kapsamında) mozaığe katkı yapan endüstriyel cam mozaiklerin değerlendirilmesine önem gösterilmiştir. Sonraki aşama mozaığın hangi taş dizilimiyle yapıldığının göz önünde bulundurulmasıdır. Mozaikler tesseraların şekil ve düzenine veya düzensizliğine göre sınıflandırılmaktadır (opus tessellatum, vermiculatum vb.) (Dunbabin ve Dunbabin 1999; King, 2006). Seçilen antik mozaikler, hangi teknikle yapıldıysa özgünlüğüne sadık kalınarak yeniden üretilmiştir. Örneğin kuş figürlü mozaikte (Şekil 8) arka planda opus tessellatum kullanılmışken (bu teknikte figürün çevresinde yaklaşık 4 mm den büyük tesseralar yatay ve düşey hizalı kullanılır) yunus figürü olan mozaikte (Şekil 9) opus vermiculatum (bu teknikte taşlar figürü bir kontur gibi çevreler ve vurgulamak için bu şekilde devam eder) kullanılmıştır.



Şekil 9. Halikarnas'ta Bir Roma Dönemi Evinden Antik Yunus Mozaığının Reprodüksiyonu

Figür içeren kısımlarda işçilik bunun iki katına kadar çıkmıştır. 10x10 cm'lik bir alan için, 2 TL'lik tutkal harcanmıştır. Mozaığın arkasında kullanılan duralit tercihe bağlıdır (istenirse masa üzerine ozalit çıktı yapıştırılıp, üstüne plastik örtü ve file serilebilir) ürün çerçevelenecekse gereklidir ve 3mm 35x50 cm ürün yaklaşık 6 TL'dir. 50 m<sup>2</sup> mozaik filesi 120 TL'dir, 1m<sup>2</sup> si yaklaşık 2,5 TL'dir. Plastik koruyucu tabaka piyasada 2x25 m 110TL bir mozaik için 2 TL civarındadır. Çerçeve hariç 50x50 cm'lik bir mozaik için yaklaşık 20 TL masraf olacaktır. Taşların %75'i atık taş olacağından, eksik kalan renklerin satın alınması 20 TL harcama gerektirmektedir. Sonuç olarak antik figür temalı mozaığın üreticiye maliyetinin yaklaşık 100 TL olduğu hesaplanmıştır. Makalenin kaleme alındığı Nisan 2020 tarihinde 60x100 cm boyutunda doğal taş kullanılmış bir mozaik detayına göre 1000-3000 TL civarı alıcı bulmaktadır (<https://www.dogaldecor.com/tas-mozaik-tablo-ayasofya-camii-dt1599>). Örnek çalışmamız kapsamında bir kişinin günde 8 saat çalışarak 20x20 cm'lik bir alanı, 10-12 günde ise 60x100 cm'lik bir mozaığı tamamlayabileceği ortaya konulmuştur. Ayda bu boyutta adedi 150 ile 300TL masrafla 3 mozaik üretilbileceği

ve bunların satışından 3000-9000 TL ciro elde edilebileceği düşünülmektedir.

#### 4. Sonuç

Doğal kaynaklar üzerine olan baskının azaltılmasında atıkların yeniden kullanımı gün geçtikçe önem kazanmaktadır. Güneydoğu Anadolu Bölgesinde yer alan Adıyaman jeolojik oluşumu nedeniyle kireçtaşı ve mermer kayaçlarının yoğun olduğu bir bölgedir. Bu nedenle son yıllarda mermer ocaklarının sayısı artmış ve yüksek düzeyde üretim gerçekleşmiştir. Ancak mermer blok üretiminde %5-10 arası olan verimlilik nedeniyle ciddi miktarda atık ortaya çıkmaktadır. Adıyaman'da yılda 90.000 ton atığın çıktığı bilinmektedir. Mermer atığı Türkiye ve Dünya'da inşaat ve tarım sektöründe kullanılmaktadır ancak bu çalışmada mermerin ilk kez morfolojik özellikleri dikkate alınarak mozaik üretiminde değerlendirilmesi öngörülmüştür. Mozaik üretiminde ise bölgenin kültürel mirası dikkate alınarak antik desenler seçilmiştir. Atık mermerin renk skalası dar olduğundan aralarında yeşil ve siyah olan renkler diğer kayaçlardan, mavi ve kırmızı/bordo ise yine atık bir materyal olan inşaat cam mozaiklerinden alınmıştır. Mozaik desen seçiminde ise Kommagene Krallığı ve Roma İmparatorluğu örnekleri kullanılarak mozaik sanatını yeniden gündeme getirmek, bölgenin kültürel mirasına sahip çıkmayı amaçlanmıştır. Mozaik üretimi hassas işçilik gerektirdiğinden ve çok ağır fiziksel güç istemediğinden bölgede istihdam olanağı bulamamış kırılmalı kesim olan kadınların kolaylıkla yapabileceği bir sanatsal çalışma olacağına inanılmaktadır. Piyasada 40x50cm boyutlarında el yapımı mozaikler çalışmamız yazılırken 1000TL civarında olduğu görülmüştür. Bir kişinin bu boyutta bir ürünü günde 8 saat çalışarak 5-6 günde tamamlayabileceği görülmüştür. Burada dikkat edilmesi gereken konu piyasada satılan seramikler her ne kadar el emeği ile üretilmiş olsalar da kullanılan tesseraların hazır materyal olarak alınıp kullanılmasıdır. Bu çalışmada üretilen mozaiklerin minimum %75'i elde kırılan taşlarla antik çağlardaki üretim teknikleri kullanılarak üretilmiş olması pazar şansını arttıran bir olgu olacaktır. Sonuçta birçok alanda değerlendirilmiş mermer atıkları, renk ve doku özellikleri göz önünde bulundurularak estetik anlamda değerlendirilecek, kullanım alanı olmadığı düşünülen atıklar sanatsal bir etkinlikte kullanılmış olacaktır. Unutulmaya yüz tutan mozaik sanatı tekrar gündeme gelerek, bölgenin kültürel mirası ileriki nesillere aktarılabilir. Bunlarla birlikte olarak istihdam olanağı bulamamış kadınlar için alternatif bir gelir kaynağı yaratılmış olacaktır. Depolama açısından sıkıntı yaratmayacak mermer atık ve kırım malzemeleri, evde bir odanın içerisinde tutulup, uygulama yapılılabileceğinden, kadınların evlerinden rahatlıkla çalışabilecekleri bir alan oluşacaktır.

#### 5. Teşekkür

Bu çalışma Adıyaman Üniversitesi Bilimsel Araştırma Proje Birimi tarafından TEBMYOMAP/2017-0001 nolu proje ile desteklenmiştir.

#### Kaynakça

Abadie-Reynal, C. (2002). Les maisons à décors mosaïqués de Zeugma. *Comptes rendus des séances de l'Académie des Inscriptions et Belles-Lettres*, 146(2), 743-771.

- Blömer, M. & Winter, E. (2011). *Kommagene: The Land of Gods between Taurus and Euphrates*. İstanbul: Homer Yayınları
- Büyük, G., Yarşi, G., Akça, E. & Bayram, C. A. (2017). Sera Koşullarında Mermer Tozunun Karbondioksit Kaynağı ve Yetiştirme Ortamı Olarak Kullanılması. *KSÜ Doğa Bilimleri Dergisi*, 20(2), 167-174.
- Bruno, M., Elçi, H., Yavuz, A. B. & Attanasio, D. (2012). Unknown ancient marble quarries of western Asia Minor. In *Interdisciplinary studies on ancient stone: Proceedings of the IXth ASMOSIA international conference* (pp. 562-72). Tarragona: ICAC.
- Celik, M. Y. & Sabah, E. (2008). Geological and technical characterisation of Iscehisar (Afyon-Turkey) marble deposits and the impact of marble waste on environmental pollution. *Journal of environmental management*, 87(1), 106-116.
- Dunbabin, K. & Dunbabin, K. M. (1999). *Mosaics of the Greek and Roman world*. Cambridge University Press.
- Garcia-Valles, M., Urzi, C., De Leo, F., Salamone, P. & Vendrell-Saz, M. (2000). Biological weathering and mineral deposits of the Belevi marble quarry (Ephesus, Turkey). *International biodeterioration & biodegradation*, 46(3), 221-227.
- Gencil, O., Ozel, C., Koksall, F., Erdogmus, E., Martínez-Barrera, G. & Brostow, W. (2012). Properties of concrete paving blocks made with waste marble. *Journal of Cleaner Production*, 21(1), 62-70.
- Gökay, M. K. & Gundogdu, I. B. (2008). Color identification of some Turkish marbles. *Construction and Building Materials*, 22(7), 1342-1349.
- Kazancı, N. & Gürbüz, A. (2014). Jeolojik Miras Nitelikli Türkiye Doğal Taşları. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 57 (1) , 19-44.
- King, S. (2006). *Mosaic techniques & traditions: projects & designs from around the world*. Sterling Publishing Company, Inc..
- Perinçek, D. (1979). Geological investigation of the Çelikhhan-Sincik-Koçali area (Adıyaman province). *İst. Üni. Fen Fak. Mecmuası*, Seri B, 44, 127-147.
- Perkins, J. W. (1951). Tripolitania and the marble trade. *The journal of roman studies*, 41(1-2), 89-104.
- Şahin, Ö. & Işık, V. (2010). Çelikhhan (Adıyaman) Civarında Yüzeyleyen Metamorfik ve Magmatik Kayaların Petrolojisi. *Geological Bulletin of Turkey*, 53(2-3).
- Tanrıverdi, Y., Akşit, İ., Akça, E., Elias-Ozkan, S. & Dolaş, O. (2018). Adıyaman çevresindeki antik mozaiklerin arkeometri yaklaşımıyla tanımlanması. Z. Ö. Biçer (Der.) *Mimarlık, Planlama, Tasarım Araştırmaları içinde* (405-418). Ankara: Nobel Akademik Yayıncılık



# Sağlık Hizmetlerinde Nesnelerin İnterneti Uygulamalarının Bibliyometrik Analizi

Gizem Köse<sup>1\*</sup>, Mehmet Nurullah Kurutkan<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Düzce Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Sağlık Yönetimi Anabilim Dalı, Düzce, Türkiye (ORCID: 0000-0002-2985-3299), [kosegizem12@gmail.com](mailto:kosegizem12@gmail.com)

<sup>2</sup> Düzce Üniversitesi İşletme Fakültesi Sağlık Yönetimi Bölümü, Düzce, Türkiye (ORCID: 0000-0002-3740-4231), [nurullahkurutkan@duzce.edu.tr](mailto:nurullahkurutkan@duzce.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 19 Mart 2021 ve Kabul Tarihi 06 Eylül 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.868000)

**ATIF/REFERENCE:** Köse, G. & Kurutkan, M.N. (2021). Sağlık Hizmetlerinde Nesnelerin İnterneti Uygulamalarının Bibliyometrik Analizi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (27), 412-432

## Öz

Bu çalışmanın amacı, sağlık hizmetlerinde Nesnelerin İnterneti (IoT) uygulamalarını ele alan bilimsel yayınların araştırma eğilimlerini incelemektir. Bu bağlamda Web of Science veritabanında 2001-2019 yılları arasında yer alan İngilizce makalelerin R programlama dili kullanılarak bibliyometrik analizi yapılmıştır. Bibliyometrik analizde, R programının web arayüzü olan Biblioshiny kullanılmıştır. Yayınlar kategorize edilerek türleri, yıllara göre eğilimleri incelenmiş; ülkelerine, kurumlarına ve yazarlarına göre değerlendirilmiştir. Bulgular, en çok atıf alan çalışmalar ışığında tartışıldı. Bu çalışma sağlık alanında IoT uygulamalarının güncel konularını sunmak ve araştırma eğilimlerini incelemek için önemli bir kaynak niteliğindedir.

**Anahtar Kelimeler:** Bibliyometrik analiz, Nesnelerin İnterneti, Sağlık hizmetleri.

## Bibliometric Analysis of Internet of Things Applications in Healthcare Services

### Abstract

This study aims to examine the research trends of scientific publications dealing with Internet of Things (IoT) applications in healthcare. In this context, a bibliometric analysis of English articles in the Web of Science database between 2001-2019 was performed using the R programming language. In the bibliometric analysis, Biblioshiny (web interface of R program) was used. Publications were categorized their types and trends over the years were examined, it has been evaluated according to their countries', institutions' and authors'. Findings were discussed in the light of the most cited studies. This study is an important resource to present current issues of IoT applications in healthcare and to examine research trends.

**Keywords:** Bibliometric analysis, Internet of Things, Healthcare.

\* Sorumlu Yazar: [kosegizem12@gmail.com](mailto:kosegizem12@gmail.com)

## 1. Giriş

Bilgi teknolojisinin gelişmesiyle birlikte, akıllı sağlık kavramı yavaş yavaş ön plana çıkmıştır. Akıllı sağlık hizmeti, geleneksel tıbbi sistemi çok yönlü bir şekilde dönüştürerek sağlık hizmet sunumunu daha verimli, daha rahat hale getirmek için IoT, büyük veri, bulut bilişim ve yapay zeka gibi yeni nesil bilgi teknolojilerini kullanır (Tian vd., 2019). Nesnelerin İnterneti akıllı servislerin son kullanıcılara götürüldüğü bir ortam sağlamak üzere entegre ve birlikte çalışan sensörler, ağ ve işleme teknolojileriyle donatılmış akıllı nesnelere içeren bir ekosistem olarak kabul edilir. IoT yer ve zaman bağımsız, insan yaşamındaki her aktivitede kullanılmak amacıyla sınırsız fayda sağlayan akıllı hizmetlerdir. Tüm bu imkan ve hizmetlerin gerçekleştirilebilmesi için, IoT ortamında çeşitli uygulamalar yoluyla veri iletimi sağlanır (Asghari, Rahmani, & Javadi, 2019). Bu uygulamaların en çok kullanıldığı alanlardan biri de sağlık alanıdır. Sağlık hizmetlerinde IoT uygulamalarının arkasındaki temel fikir herhangi bir kısıtlama olmadan hastaya ait verilerin algılanabilmesi, işlenebilmesi ve akıllı cihazlar ile uzaktan iletişimin sağlanabilmesidir (Bhatt & Bhatt, 2017). Akıllı sağlık bireyler perspektifinden değerlendirildiğinde bireyler için daha iyi sağlık öz yönetiminin gerçekleşmesini ve tıbbi hizmetlerin içeriğinin kişiselleşmesini sağlayabilir. Tıbbi kurumlar perspektifinden değerlendirildiğinde ise maliyetleri azaltarak hastanın tıbbi deneyimini iyileştirebilir. Araştırma kurumları için akıllı sağlık hizmeti, araştırma maliyetini ve süresini azaltarak araştırmacının genel verimliliğini artırabilir (Xiang, Zeng, & Shen, 2016). Yapılan bir çalışmada 2025 yılına kadar IoT uygulamalarının pazar payının %41'ini sağlık hizmetlerinin oluşturacağı ifade edilmiştir (Al-Fuqaha, Guizani, Mohammadi, Aledhari, & Ayyash, 2015; Manyika vd., 2013).

Sağlık hizmetlerinde IoT uygulamaları literatürü incelendiğinde araştırmaların sağlıkta nesnelerin interneti (Yin, Zeng, Chen, & Fan, 2016), IoT'nin kişisel sağlık hizmetleri üzerindeki etkileri ve uygulamaları (P. Yang, Qi, Min, & Xu, 2017), giyilebilir teknolojiler (Castillejo, Martinez, Rodriguez Molina, & Cuerva, 2013), sağlık alanında IoT'nin fırsatları ve zorlukları (Baker, Xiang, & Atkinson, 2017), evde sağlık hizmetleri (Pang vd., 2015), büyük veri (Dimitrov, 2016), bulut sistemleri (Hossain & Muhammad, 2016), akıllı sağlık sistemleri (Rahmani vd., 2018), bulut teknolojisi (Abawajy & Hassan, 2017), verilerin gizliliği ve güvenliği (Yang Yang, Zheng, Guo, Liu, & Chang, 2019) gibi alanlarda yapıldığı görülmektedir. Ayrıca konu hakkında sistematik literatür çalışması yapılmış ve çalışmada son 10 yılda yayınlanan 5000'den fazla makale değerlendirilerek kişisel sağlık kayıtları sınıflandırılmış; konunun zorlukları, sorunları ve ilgili standartları ile ana profilleri belirlenmiştir (Roehrs, da Costa, Righi, & Farias de Oliveira, 2017). Görüldüğü üzere alan oldukça geniş ve derinlemesine araştırmaların yer aldığı bir alandır. Bu durumda alanı nicel ve istatistiksel açıdan değerlendirmek için bibliyometri en uygun yöntemlerden biri olacaktır.

Bibliyometri enformasyon alanında kullanılmaktadır ve bibliyometrik yöntemler sayesinde araştırmaların belli bir yönü ve değeri ortaya çıkarılabilmektedir (Rodriquer-Soler, Uribe-Toril, & Valencio, 2020; Shang, Saladin, Fry, & Donohue, 2015). Meta verilere dayanan bibliyometrik analiz (Pernitez-Agan, Bautistia, Lopez, Sampson, & Wickramage, 2020) sosyal bilimlerde kullanımı araştırmacının nesnellikliğini artırmakta ve farklı

yazarların bakış açısının biraraya getirilmesini sağlamaktadır (Zupic & Cater, 2014).

Yaygın bir şekilde bibliyometrik analizler iki amaca hizmet etmektedir (Kurutkan ve Orhan, 2018a: 9-10). Bunlar da 1) geleneksel bibliyometrik parametreler açısından bibliyometri ve 2) modern anlamda bilim haritalama tekniklerini kullanan ücretli ve ücretsiz yazılımlar açısından bibliyometri şeklindedir. Geleneksel yöntemde genellikle en terimi iş görmekte ve bu bağlamda da konu ile ilgili en'ler (yazarlar, dokümanlar, ülkeler, dergiler vb.) ön plana çıkarılmaktadır. Bu kapsamda ya herhangi bir veri tabanı (Web of Science, Scopus, Pubmed vb.) üzerinden konunun önde gelen unsurları incelenir veya bir yazılım aracılığı ile gerçekleştirilir (Kurutkan ve Orhan, 2018b: 2-3). Modern yöntemde ise birçok ücretli veya ücretsiz yazılım programı kullanılabilir. Bu kapsamda ücretsiz hizmet veren SciMAT (Cobo vd., 2012), Citespace (Chen, 2014), HistCite (Bankar, 2019), BibExcel (Persson, Danell ve Schneider, 2009), Gephi (Bastian, 2009), Vosviewer (Van Eck ve Waltman, 2013), gibi birçok yazılım bibliyometride karar almayı ve görselleştirmeyi hızlandırmaktadır.

Herhangi bir çalışma alanındaki mevcut literatürün miktarı karşısında, çoğu zaman araştırmacılar, mevcut bilgi birikiminin büyüklüğü karşısında, kendisini çaresiz ve hatta yetersiz hissedebilmektedir. Bu sorunu çözebilecek ve çok kısa bir zaman diliminde en etkin okuma düzeyine ulaştıracak tekniklerden birisi de bibliyometrik analizdir. Nesnelerin interneti konusunun sağlık disiplini özelinde bibliyometrik tekniklerle incelenmesi bu çalışmanın temel amacını oluşturmaktadır.

Nesnelerin İnterneti kavramı hem bütün endüstriler (bu ayırımı genel bakış diyeceğiz) açısından hem de sektörel açıdan bibliyometrik analizlere tabi tutulmuştur. Genel bakış tekniği ile inceleyen çalışmada (Mishra ve ark, 2016) performans (citation ve pagerank analizleri gibi) analizleri yapmışlardır. Genel bakışı sadece bir coğrafi bölgenin (Arap coğrafyası) çalışmalarına ayıranlar da (Kaba ve Ramaiah, 2019) bulunmaktadır. Ayrıca veri madenciliği tekniği ile 778 makaleyi inceleyen çalışmalar da bulunmaktadır (Konstantinidis, ve ark. 2017). Özel konular bağlamında ve sektörel uygulamalar bağlamında inceleyen çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Nesnelerin interneti kavramını, sirküler ekonomi (Nobre ve Tavares, 2017), patent sayıları (Li, Pak ve Bi, 2020), gıda endüstrisi (Bouzemrak ve ark. 2019), pazarlama disiplini (Miskiewicz, 2020), blockchain teknolojisi (Kamran ve ark. 2020), ilgili teknolojinin önündeki zorluklar ve engeller (Dadhah ve ark. 2020) ve sadece sosyal bilimlerin bakış açısı (Leong, Tajudeen ve Yeong, 2021) ile inceleyen çalışmalar ön plana çıkmaktadır. Sağlık açısından inceleyen sadece bir çalışma bulunmaktadır. O da sağlık trendleri (Konstantinidis ve ark. 2017) bağlamında incelemiştir.

Yukarıdaki çalışmalar incelendiğinde sağlık sektörünün tamamını 2020 yılına kadar yayınlanan çalışmalar açısından inceleyen bir çalışma tespit edilememiştir. Bu çalışma ilgili boşluğu doldurmak amacı ile tasarlanmıştır.

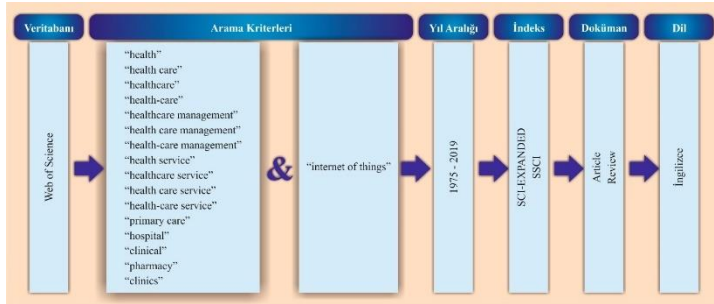
Yukarıdaki amaca ulaşabilmek için genel bir literatür değerlendirilmesi yapılmış, çalışmanın amacı netleştirilmiştir. Bundan sonraki bölümlerde arama stratejisi ve seçilen veri tabanlarından bahsedilecektir. Hangi analizlerin yapıldığı tabloleştirilmiş ve bulgular tablodaki sıraya riayet edilerek yorumlanmıştır. Tartışma kısmında elde edilen bulgular analiz edilmiş ve sonuç ve önerilerde bulunulmuştur.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Materyal

Çalışmanın veri setini oluşturan makaleler Web of Science Core Collection veri tabanından elde edilmiştir. Arama yapılırken AND ve OR bağlaçları kullanılmış; makale başlığında konunun sağlık disiplini olmasını sağlayan anahtar kelimeler seçilmiştir. Sağlık hizmetlerinin temsil eden kelimeler makale başlığında aratılmış ve elde edilen sonuçlar içinde (AND bağlacı burada kullanılmıştır) nesnelerin interneti kavramı aratılarak konu netleştirilmiştir. Makale başlığı düzeyinde “health”, “health care”, “healthcare”, “health-care”, “healthcare management”, “health care management”, “health-care management”, “health service”, “healthcare service”, “health care service”, “health-care service”, “primary care”, “hospital”, “clinical”, “pharmacy”, “clinics” arama kelimeleri OR bağlacı kullanılarak aratılmıştır. Bu sayede sağlık hizmetleri alanını içeren çalışmaların tamamına ulaşılmaya çalışılmıştır. Aramanın bir diğer kısıtını ise zaman dilimi ve endeksler oluşturmaktadır. Bu kapsamda 1975-2019 yılları arasında yayınlanan makaleler veri setine dahil edilmiştir. Arama neticesinde konu ile alakalı ilk makalenin 2001 yılında yayınlandığı görülmüştür. Bu sebeple analizde 2001 ile 2019 yılları arasında yer alan çalışmalar değerlendirilmiştir. Endeksler arasından ise SCI-EXPANDED ve SSCI ile endekslenen makaleler seçilerek arama yapılmıştır. Elde edilen sonuçlarda “internet of things” konusu AND bağlacı ile süzülerek tekrar arama yapılmıştır. Bu sayede sağlık hizmetlerini ve nesnelerin internetini birlikte konu edinen çalışmalara erişilmiştir. Doküman tipi olarak Article ve Review türündeki çalışmalar, dil olarak ise İngilizce dilinde yayınlanan çalışmalar kapsama alınmıştır. Şekil 1’de veri setinin elde edilmesi süreci görselleştirilmiştir.

Şekil 1. Veri Setinin Elde Ediliş Süreci (Çalışma Ağacı)



### 2.2. Metot

1960 yıllarında John Chambers ve arkadaşları tarafından temeli atılan R programlama dili istatistiksel hesaplamalarda kullanılan bir araçtır (European Environment Agency, 2020; Prajapati, 2013). R, S diline dayanmaktadır ve bu da kullanıcıların yapılan algoritmik seçimleri takip etmesini kolaylaştırır. İleri düzey kullanıcılar, R nesnelerini doğrudan işlemek için C kodu yazabilir. R, veri işleme, hesaplama ve görselleştirme için entegre bir yazılım paketidir ve etkili bir veri işleme ve depolama tesisi içermektedir. Verilerin grafiklerle ifade edilmesini sağlayan olanaklar iyi geliştirilmiştir, basit ve etkili bir programlama dilidir (The R Foundation, 2020). Bu makalede yazılım olarak R tabanlı bir kütüphane olan “bibliometrix” ve kullanıcı dostu olan ve “bibliometrix’in” web tabanlı arayüzü olan “biblioshiny” kullanılmıştır. Açık yazılım niteliğine sahip olan Bibliometrix, esnek, hızla yükseltilebilir ve diğer istatistiksel R paketleri ile entegre edilebilir. Bu nedenle, bibliyometri gibi sürekli değişen bir bilim disiplini için oldukça kullanışlıdır. Bibliometrix tüm

temel bibliyometrik analiz yöntemlerini içermektedir ancak özellikle bilim haritalama için kullanılmaktadır (Aria ve Cuccurullo, 2017). İlgili yazılımın seçilmesinde kullanıcı dostu olması ve analiz aşamaları takip edildiğinde bir makale için gerekli olan bilgi gövdesinin daha rahat inşa edilebilmesidir.

Kısıtlamalar neticesinde 519 makaleye erişilmiş ve bu makaleler plain text formatında indirilmiştir. Makaleler arasında erken erişimli olanlar hariç tutularak 503 adet makalenin bibliyometrik analizi R 4.0.3 paket programı aracılığı ile yapılmıştır. Bibliyometrik analiz dahilinde indirilen makalelerin veri seti, kaynaklar, yazarlar ve dokümanlar gibi birimleri incelenmiştir. İncelemeler çalışmanın bulgular kısmında detaylı bir biçimde açıklanmaktadır. Analiz birimleri ve analiz türleri Tablo 1’de gösterildiği gibidir.

Tablo 1. Bu çalışmada kullanılacak Analiz Birimi ve Alt Bileşenleri (Analiz Türü)

Analiz Birimi	Analiz Türü
Veri Seti	Veri Seti Hakkında Temel Bilgiler Yıllık Bilimsel Üretim Yıllık Ortalama Atıf Sayısı
Kaynaklar	En İlgili Dergiler Bradford Yasası Kaynak Etkisi Kaynak Dinamikleri
Yazarlar	En Alakalı Yazarlar En Çok Yerel Atıf Alan Yazarlar Yazarların Zaman İçindeki Lotka Yasası Yazar Etkisi En İlgili Bağlantılar Sorumlu Yazarın Ülkesi Ülkelerin Bilim Üretimi En Çok Alıntı Yapılan Ülkeler
Dokümanlar	En Çok Küresel Atıf Alan En Çok Küresel Atıf Alan Referanslar Referans Spektroskopisi En Sık Kullanılan Kelimeler Kelime Bulutu Ağaç Haritası Kelime Dinamikleri Trend Konular
Kavramsal Yapı	Tematik Harita Tematik Evrim Faktöriyel Analiz
Sosyal Yapı	Dünya İşbirliği Haritası İşbirliği Ağı

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

### 3.1. Araştırma Sonuçları

Çalışmada analiz edilen 503 adet makale 2001-2019 yıllarını kapsamaktadır. Makalelere ait temel bilgiler Tablo 2’de gösterilmiştir. Tablo 2 incelendiğinde söz konusu makalelerin yayımlandığı 195 adet kaynak (dergi, kitap vs.) bulunmaktadır. Makale başına düşen atıf oranı 22,66’dır. Tek yazarlı makale sayısı 20’dir ve tek yazarlı makalelerin tüm makalelere oranı 0,039’dır. Yazarların iş birliği indeksi 3,83 olmakla beraber bu oran oldukça yüksektir. İş birliği indeksi alanın farklı yazarların birlikte çalışmasına uygun bir alan olduğunu göstermektedir.

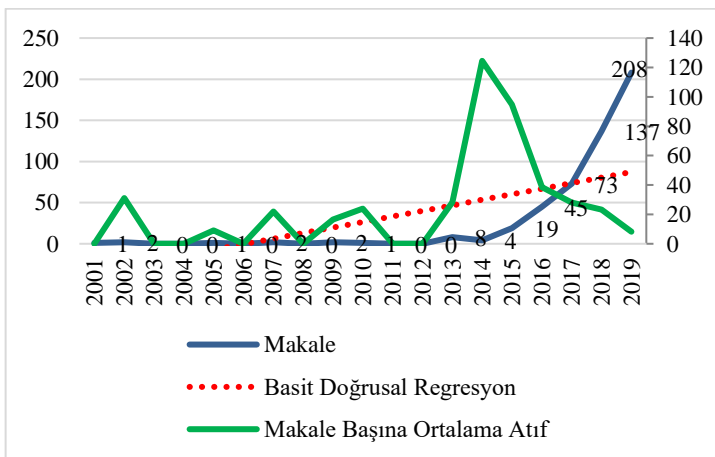


Tablo 2. Veri Seti Hakkında Temel Bilgiler.

Tanım	Sonuçlar
<b>VERİ SETİ HAKKINDA TEMEL</b>	
Zaman Aralığı	2001:2019
Kaynaklar (Dergiler, Kitaplar, vs.)	195
Dokümanlar	503
Yayıncıdan İtibaren Ortalama Yıl	2,35
Doküman Başına Ortalama Alıntı	22,66
Doküman Başına Yıllık Ortalama Alıntı	6,361
<b>DOKÜMAN TIPLERİ</b>	
Makale	441
Makale; Kitap Bölümü	1
Makale; Kongre Bildiri (proceedings paper)	5
Derleme Makalesi	56
<b>DOKÜMAN İÇERİĞİ</b>	
Ek anahtar Kelimeler (Keywords Plus (ID))	860
Yazarların Kelime Sayısı	1649
<b>YAZARLAR</b>	
Yazar Sayısı	1868
Tek Yazarlı Dokümanların Yazar Sayısı	18
Çok Yazarlı Dokümanların Yazar Sayısı	1850
<b>YAZARLARIN İŞBİRLİĞİ</b>	
Tek Yazarlı Dokümanlar	20
Yazar Başına Doküman Sayısı	0,269
Doküman Başına Yazar Sayısı	3,71
Doküman Başına Ortak Yazar Sayısı	4,44
İşbirliği Endeksi	3,83

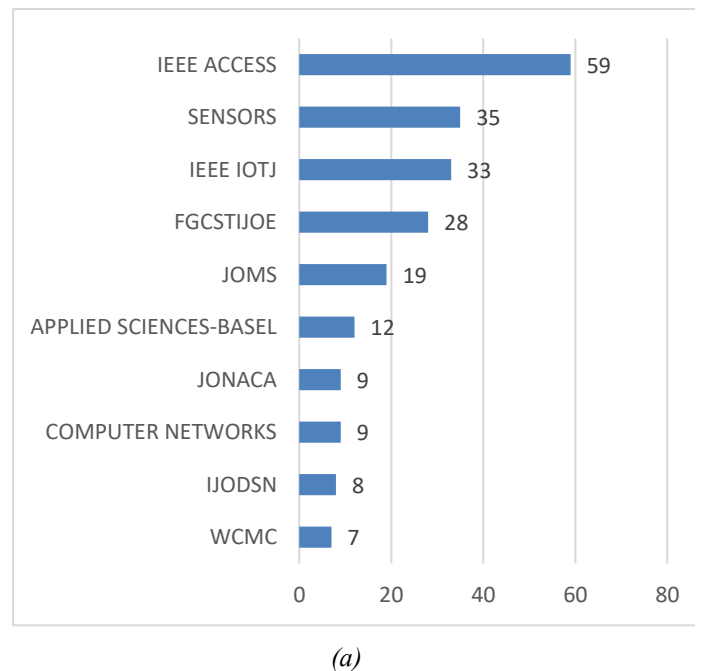
Şekil 2 incelendiğinde 2001 ve 2014 yılları arasında makale sayılarında düzenli bir artış görülmemekte, 2015 yılı itibari ile ciddi yükselişler gerçekleşmeye başlamaktadır. 2015 yılında 19 olan makale sayısı 2019 yılında 208'e ulaşmıştır. 4 yıl içerisinde yayınlanan makale sayısı 10,94 katına çıkmıştır. 2014 yılına gelindiğinde en yüksek atıf sayısına ulaşıldığı görülmektedir. Fakat 2014 yılından itibaren yıllık ortalama atıf sayılarında sürekli bir düşüş söz konusu olmaya başlamıştır. Ayrıca alanın yıllık büyüme oranı %56,02 olarak bulunmuştur. Yıllar içerisinde makale sayısındaki ciddi artışlar ve yıllık büyüme oranı alana büyük bir ilginin söz konusu olduğunu, çalışmaların devam ettiğini ve günümüzde güncel bir çalışma alanı olduğunu göstermektedir. Şekilde yer alan doğru ile gelecek yıllarda da alanla alakalı çalışmaların doğrusal bir biçimde artış göstereceği sonucuna ulaşılabilmektedir. Bu doğrultuda makale sayısına ait basit doğrusal regresyon denklemi  $y = 6,747368421x - 13535,73684$  şeklinde hesaplanmıştır. Bu denklemde bulunan y değişkeni makale sayısını, x değişkeni ise yılı temsil etmektedir.

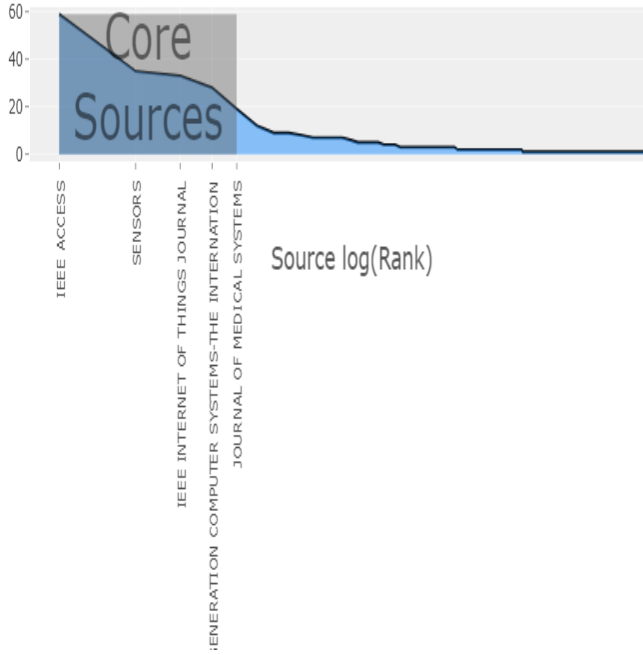
Şekil 2. Makale Sayısının Yıllara Göre Değişimi.



Konu ile alakalı en çok makale yayınlayan dergi ise IEEE Access Dergisi'dir ve dergide konu ile ilgili 59 makale yayınlanmıştır. En alakalı ilk 10 kaynak Şekil 3 (a)'da gösterildiği gibidir. Söz konusu dergide yayınlanan makaleler ilk 20 dergide yayınlanan makalelerin %21'ini oluşturmaktadır. Dergiye ait websitesi incelendiğinde açık erişimli, multidisipliner ve hakemli bir dergi olduğu anlaşılmaktadır. Düzenli aralıklarla yayın yapan derginin etki faktörü 3,745 olarak belirtilmiştir (IEEE Access, 2020). IEEE Access Dergisi'nden sonra en çok makale yayınlanan dergi Sensors Dergisi'dir ve 35 makale yayınlanmıştır. Sensors Dergisi ise 2001 yılında yayın hayatına başlayan; hakemli, açık erişimli, etki faktörü 3.275 olan bir dergidir (MDPI, 2020). En çok makale yayınlayan diğer dergiler ise 33 makale ile IEEE Internet of Things Journal (IEE IOTJ), 28 makale ile Future Generation Computer Systems-The International Journal of Escience (FGCSTIJOE) ve 19 makale ile Journal of Medical System (JOMS)'dir. En çok makale yayınlayan diğer dergiler ise Applied Scienes-Basel, Journal of Network and Computer Applications (JONACA), Computer Networks, International Journal of Distributed Sensor Networks (IJODSN), Wireless Communication & Mobile Computing (WCMC) dergileridir. İlk 5 dergide yayınlanan makaleler ilk 20 dergide yayınlanan makalelerin %63'ünü oluşturmaktadır. Bradford's Yasası'nda bir alandaki çalışmaların genellikle belirli kaynaklarda yayınlandığı ifade edilmektedir. Yayın sayılarına göre kaynaklar azalan bir biçimde sıralandıklarında kaynakların her biri yayınların üçte birini kapsayan üç grupta sınıflandırılabilir. Bu sınıflandırma neticesinde oluşan ilk grup çekirdek kaynakları oluşturmaktadır (Dadkhah, Lagzian, Rahimnia, & Kimiafar, 2020). Şekil 3(b)'da yer alan dergilerin en ilgili kaynaklarda yer alan ilk 5 dergi ile aynı olduğu göze çarpmaktadır. Bradford Yasası'ndan görüleceği üzere IEEE Access Dergisi'nin temel kaynaklar içerisinde kapladığı alan diğer dergilere oranla daha fazladır. 202 olan toplam dergi sayısının %2,47'sini çekirdek kaynakların oluşturduğu görülmektedir. Bununla birlikte 5 çekirdek dergide yayınlanan makaleler analizde yer alan tüm makalelerin %33,52'sini oluşturmaktadır.

Şekil 3. (a) En İlgili Dergiler; (b) Bradford Yasası.





(b)

Kaynaklara ait h, g ve m indeks değerleri ile toplam atıf sayılarına ilişkin sayısal veriler Tablo 3'te gösterildiği gibidir. Hirsch h indeksinin alıntı sayısı, makale sayısı ve makale başına ortalama alıntı gibi göstergelere kıyasla gelecekteki başarıyı daha iyi tahmin ettiğini ifade etmiştir (Hirsch, 2007). Tablo 3 incelendiğinde h indeksi en yüksek kaynağın 19 değeri ile IEEE Access olduğu görülmektedir. Bu indeks dergide yayınlanan 19 makalenin 19'dan fazla atıf aldığını göstermektedir. Aynı zamanda en yüksek g indeksine ve toplam atıf sayısına sahip olma özelliğini de taşımaktadır. Fakat h indeksi her alanın kendine özgü atıf yöntemi göz önünde bulundurularak hesaplandığı için bizim çalışmamız gibi disiplinlerarası bir çalışmada h indeksini yorumlamak pek doğru olmayacaktır (Bornmann & Daniel, 2007). G indeksi ise h indeksinin iyileştirilmiş bir biçimi olarak sunulmuş ve h indeksi hesaplamalarında farklı sayıda atıf alan makalelerin indekse olan etkisi aynı iken g indeksinde atıf performansı ölçülürken en çok okunan makaleler hesaplamalarda daha çok önemsenmiştir (Egghe, 2006). En yüksek g indeksine sahip kaynak IEEE Access kaynağıdır ve 43 değerine sahiptir. M indeksi Hirsch tarafından tanımlanmıştır ve H indeksinin akademinin aktif olduğu yıl sayısına bölünmesi ile elde edilmektedir (Harzing, 2012). En yüksek m indeksine sahip kaynak ise Future Generation Computer Systems-The International Journal of Escience kaynağıdır ve 3,4 değerine sahiptir. Toplam atıf sayısı bazında kaynaklar incelendiğinde ise en yüksek atıf sayısına sahip olan kaynağın IEEE Access olduğu ifade edilebilir. IEEE kaynağının en yüksek h ve g indeksleri ile toplam atıf sayısına sahip olmasına rağmen yalnızca m indeksinin Future Generation Computer Systems-The International Journal of Escience kaynağından düşük olması dikkat çekmektedir. İndeksler incelendiğinde en etkin derginin IEEE Access olduğu, güçlü çalışmaların bu dergide yayımlandığı söylenebilir. Alan ile alakalı yapılacak çalışmalarda, alınacak karar ve uygulanacak politikalarda derginin göz önünde bulundurulması önem taşımaktadır.

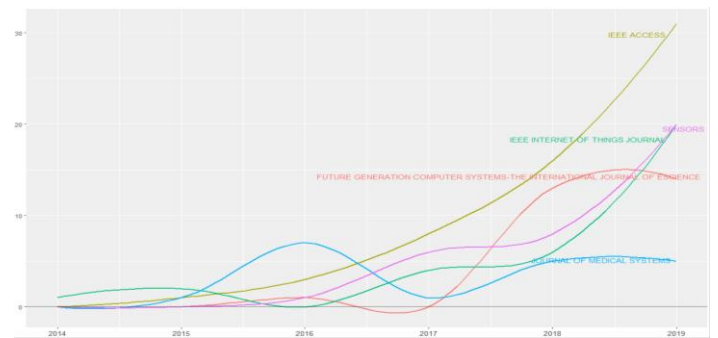
Tablo 3. Dergilere Ait h, g, m İndeksleri.

Dergiler	h_index	g_index	m_index	TC	NP	PY_start
IEEE Access	19	43	3,166	1925	59	2015
Future Generation Computer Systems-The International Journal of Escience	17	28	3,4	1214	28	2016
IEEE Internet of Things Journal	15	33	2,142	1345	33	2014
Journal of Medical Systems	12	19	2	479	19	2015
Sensors	11	23	2,2	550	35	2016
Journal Of Network And Computer Applications	7	9	1,4	193	9	2016
Applied Sciences-Basel	6	11	1,2	125	12	2016
Computer Networks	6	9	1,2	326	9	2016
IEEE Communications Magazine	6	7	1,5	306	7	2017
IEEE Transactions On Industrial Informatics	6	6	0,857	422	6	2014

\*TC: Total Citation; Toplam Atıf; NP: Number of Production; Yayın Sayısı; PY start: Yayın Başlangıç Yılı

Makale sayısından yıllık büyüme oranı 2014-2019 dönemine özgüdür. Bunun sebebi söz konusu dergilerde alana ait ilk yayının 2014 yılında gerçekleşmiş olmasıdır. 2014 yılından öncesine ait bir çalışma bulunmamaktadır. 2014 yılında yayınlanan ilk makale (Amendola, Lodato, Manzari, Occhiuzzi, & Marrocco, 2014) makalesidir ve IEEE Iternet of Things Journal Dergisi'nde yayınlanmıştır. Makalede geleneksel tıbbi modelden katılımcı modele geçişte kişisel sağlık bakımının IoT perspektifinden değerlendirilmesi yapılmıştır. Kişilerin günlük hayatlarındaki davranışlar evlerinin içine konan sensörler aracılığı ile izlenmiştir. Anormal durumlara sebebiyet veren davranışların öncülleri IoT aracılığı ile incelenmiş ve bu durumlarda hastanın ihtiyaç duyduğu yardımın uzaktan sağlanması için prosedür oluşturulmaya çalışılmıştır (Amendola vd., 2014). Şekil 4 incelendiğinde kaynakların büyüme oranlarında dalgalanmaların olduğu görülmektedir. Kaynaklardan yalnızca IEEE Access yıllar içerisinde doğrusal bir şekilde büyüme göstermiştir. Özellikle Future Generation Computer Systems-The International Journal of Escience ve Journal of Medical System dergilerindeki dalgalanmalar dikkat çekmektedir.

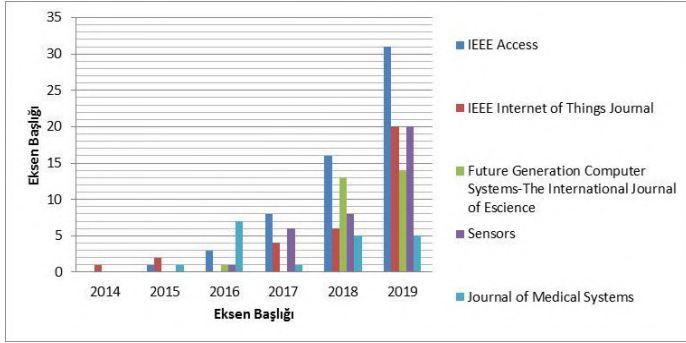
Şekil 4. Kaynaklara Ait Yıllık Büyüme.



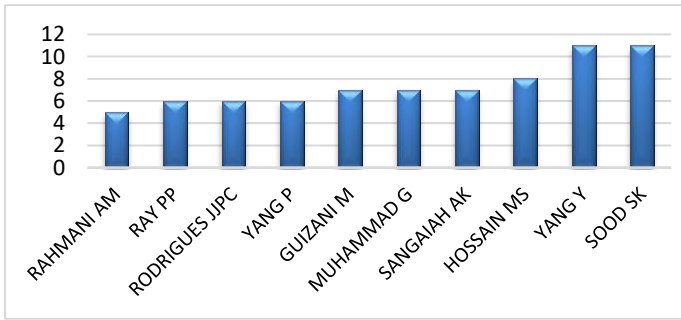
Şekil 5'te kaynaklarda yıl bazında yayınlanan makale sayıları gösterilmektedir. Görüldüğü üzere IEEE Access Dergisi'nde makale sayısı her yıl artmakta, IEEE Internet of Things Journal

Dergisi'nde 2016 yılında bir düşüş yaşanmakta fakat diğer yıllarda bir önceki yıla göre yine artmaktadır. Future Generation Computer Systems-The International Journal of Escience Dergisi'nde ilk makale 2016 yılında yayınlanmakta 2017 yılında hiç makale yayınlanmamakta ve 2018 ile 2019 yıllarında makale sayısı artmaktadır. Sensors Dergisi'nde 2016 yılı itibari ile yayın sayısı artmaktadır, Journal of Medical Systems Dergisi'nde ise yayın sayısında dalgalanmalar mevcuttur.

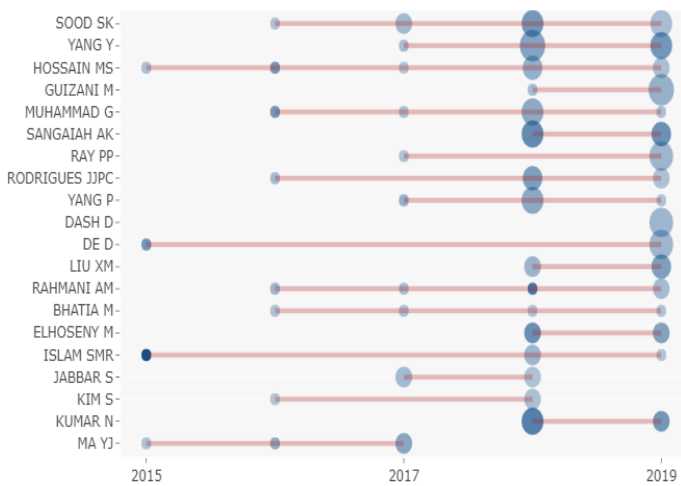
Şekil 5. Yıllara Göre Kaynaklarda Yayınlanan Makale Sayısı.



Şekil 6. (a) En Alakalı Yazarlar; (b) Yazarların Zaman İçerisindeki Üretkenliği.



(a)



(b)

Kaynaklardan sonra konu ile en alakalı yazarlar da incelenmiştir. En alakalı ilk 10 yazar Şekil 6 (a)'da gösterildiği gibidir. Şekil incelendiğinde en alakalı yazarın Sood SK olduğu görülmektedir ve yazarın alana katkı sağlayan 11 adet makalesi bulunmaktadır. Bir sonraki yazar ise Yang Y'dir ve alana katkı sağlayan 11 adet makalesi vardır. Fakat bu sonucun elde

edilmesinin sebebi programın Yuan Yang, Yutau Yang, Yang Yang ve Yun Yang yazarlarını Yang, Y şeklinde kodlayarak tek bir yazarmış gibi analiz yapmasıdır. Dört yazara ait 11 adet makale, program tarafından tek yazara ait 11 adet çalışma olarak kabul edilmiş bu sebeple Yang, Y yazarı en alakalı ikinci yazar olarak belirtilmiştir. Yazarların çalışmaları incelendiğinde Yuan Yang ve Yutau Yang'a ait 1, Yang Yang'a ait 4, Yun Yang'a ait 5 adet çalışma olduğu görülmüştür. İnceleme neticesinde kullanılan programın aynı soyisime ve yakın isimlere sahip yazarları kodlamada duyarlı olmadığı görülmüştür. Programın kodlama sorununun çözülmesi analizlerin doğruluk ve güvenilirliğinin artırılmasını sağlayacaktır. Şekil 6 (b)'de ise en alakalı yazarların üretkenliği incelenerek en üretken ilk 20 yazar gösterilmiştir. Şekilde yer alan yıllar ekseninde yazarların ilk yayını ile son yayını arasında geçen zaman gösterilmektedir. Mavi dairelerin büyüklüğü yayın sayısı ile ilişkilendirilirken; koyuluğu ise yazarların atf sayıları ile ilişkilidir. Yazarların yayın sayıları arttıkça daire büyümekte, atf sayıları arttıkça dairelerin rengi koyulaşmaktadır. Şekil incelendiğinde Hossain MS, DE D, Islam SMR ve MA YJ yazarlarının konu hakkında makale yayınlamaya 2015 yılında başladıkları görülmektedir. 2015 yılında en çok atfı Islam SMR aldığı için 2015 yılını gösteren baloncuk koyu mavi renklidir. Yazar bir çalışma yayınlamış ve çalışması 757 atf alarak 2015 yılında en üretken yazar olmasını sağlamıştır. Çalışmada IoT tabanlı sağlık teknolojileri, bu teknolojilerin ağ mimarileri ve endüstriyel eğilimleri incelenerek sağlık hizmetlerinde büyük veri, giyilebilir teknoloji gibi yenilikçi uygulamalardan nasıl yararlanılması gerektiği anlatılmıştır. Uygulamaların güvenlik ve gizlilik özelliklerinden bahsedilmiş ve güvenlik riskini önlemek amacı ile bir model önerilmiştir. Bununla birlikte bazı tanınmış teknoloji firmalarının IoT sağlık hizmeti vizyonları sunulmuştur. Sağlık politikaları sorunlarının ve mevcut durumların ortaya konması amacı ile IoT ve e-sağlık konusunda çalışan ülke ve kuruluşların stratejileri incelenmiştir. Hindistan, Avustralya, Japonya, Çin, Kore, Birleşik Devletler gibi ülkelerin yanısıra Avrupa Birliği ve Dünya Sağlık Örgütü'nün e-sağlık politikaları incelenmiştir (Islam, Kwak, Kabir, Hossain, & Kwak, 2015).

Islam SMR'den sonra en üretken yazar 2015 yılında yayınladığı bir makale ile 303 atf alan DE D'dir. Yazar çalışmasında hastanelerdeki ve hemşirelik enstitülerindeki hastaların, personelin ve biyomedikal cihazların otomatik olarak takip edilebilmesi için IoT'ye duyarlı RFID, WSN ve mobil teknolojilerin ortak kullanımını temel alan bir akıllı hastane sistemi önermektedir. Hastanın fizyolojik verileri hastaneye dağılan RFID okuyucular tarafından gerçek zamanlı toplanarak özelleştirilmiş bir web hizmeti aracılığıyla hem yerel hem de uzak kullanıcılar tarafından kolayca erişilebilir hale getirilerek bir kontrol merkezine gönderilir. Önerilen mimariyi doğrulamak için iki farklı kullanım durumu uygulanmıştır. İlki, hastaların izlenmesiyle, ikincisi ise 3 eksenli hızlanma ölçümleriyle tespit edilen hasta düşmelerinin neden olduğu acil bir durumun yönetimiyle ilgilidir. Elde edilen sonuçlar, önerilen sistemin sadece hastaneler ve hemşirelik enstitülerindeki hastaların, hemşirelerin ve biyomedikal cihazların takibini gerçekleştirmek için değil uzaktan hasta izleme ve acil durumların ele alınmasını sağlamak için de uygun olduğunu göstermektedir (Catarinucci vd., 2015).

2016 yılındaki en üretken yazarlar ise Hossain MS ve Muhammad G'dir. Yazarların ortak çalışması olan makale 245 atf almıştır. Çalışmada sağlık verilerinin mobil cihazlar ve sensörler tarafından toplandığı ve sağlık uzmanları tarafından sorunsuz erişim için buluta güvenli bir şekilde gönderildiği mimari

sunulmuştur. Önerilen sistemde kimlik hırsızlığını veya klinik hatayı önlemek için sinyal geliştirme, filigranlama gibi analizlerin kullanılması önerilmiştir. Sağlık hizmeti verilerinin güvenli ve yüksek kaliteli izlenmesi için buluta gönderilmeden önce filigran haline getirildiği buluta entegre bir çerçeve açıklanmıştır. Gelecekteki çalışmalarının gerçek dünyadaki hastalar ve sağlık uzmanlarıyla bir test denemesinin uygulamasını içereceğini belirtmişlerdir (Hossain & Muhammad, 2016).

2017 yılındaki en üretken yazar ise MA YJ'dir yazarın 2017 yılında yayınladığı iki adet çalışması vardır. 110 atıf alan çalışmasında mevcut sağlık hizmetinin dezavantajları incelenmiş yeni nesil sağlık bakım sistemlerinin deneyim ve hizmet kalitesini iyileştirmek için Giyilebilir 2.0 sağlık sistemi önerilmiştir. Önerilen sistemde, sensörler ve elektrotlardan oluşan yıkanabilir akıllı giysiler, kullanıcıların bulut tabanlı makine zekası tarafından sağlanan fizyolojik verilerini toplayarak sağlık ve duygusal durumlarını analiz etmek için kritik bir bileşendir (Chen vd., 2017). Web of Science veri tabanında yayınlanan diğer çalışması ise 24 atıf almıştır çalışmada nesne tabanlı sağlık sistemine ve büyük veriye dayalı uygulama açıklanmıştır. Sistemin mimarisi, anahtar teknolojileri ve tipik uygulamaları tanımlanmış ve zorlukları ortaya konmuştur (MA, Wang, Yang, Miao, & Li, 2016).

2018 yılındaki en üretken yazar ise Rahmani AM'dir yazarın 2018 yılında yayınladığı çalışması 251 atıf almıştır. Yazar çalışmasında yerel depolama, gerçek zamanlı yerel veri işleme, gömülü veri madenciliği gibi üst düzey hizmetler sunmak için bir Akıllı e-Sağlık Geçidi sunmaktadır. Sensör düğümleri ve bulut arasında Geo-dağıtılmış bir ara zeka katmanı oluşturarak sağlık hizmeti IoT sistemlerinde Sis Bilişim konseptinden yararlanmayı önermiştir. Önerilen mimarinin sensör ağının ve uzaktaki bir sağlık bakım merkezinin bazı yüklerinin üstesinden gelme sorumluluğunu alarak, mobilite, enerji verimliliği, ölçeklenebilirlik ve güvenilirlik sorunları gibi sağlık hizmetleri sistemlerindeki zorluklarla başa çıkabileceğini ifade etmişlerdir. Ayrıca, tartışılan bazı üst düzey özelliklerin uygulandığı UT-GATE adlı bir Akıllı e-Sağlık Ağ Geçidi prototipi sunulmuş ve sistemin vaka çalışmasını ele almadaki etkinliğini pratikte göstermek için IoT tabanlı bir erken uyarı puanı uygulanmıştır (Rahmani vd., 2018).

2019 yılının en üretken yazarı ise Sangaiah AK'dir. Yazarın 2019 yılında 3 çalışması vardır ve çalışmaları 112 atıf almıştır. 71 atıf alan çalışmasında sağlık hizmeti uygulamalarındaki çeşitli sorunları çözmek için bulut bilişim ve IoT uygulamalarının literatürü kapsamlı bir şekilde incelenmiş ve sağlık uygulamaları için bulut bilişim ile IoT'nin entegrasyonu önerilmiştir. Sağlık sistemleri için bulut bilişim ve IoT entegrasyonu araştırmaları incelenmiş, zorluklar ve gelecekteki araştırma eğilimleri belirlenerek CloudIoT-Health teknolojisi analiz edilmiştir. (Darwish, Hassanien, Elhoseny, Sangaiah, & Muhammad, 2019).

Yazarlara ait h, g ve m indeks değerleri ile toplam atıf sayısı Tablo 4'te incelenmiştir. En yüksek h indeksine sahip yazarın 8 değeri ile Yang Y olduğu görülmektedir. En yüksek g indeksine sahip yazarın 11 değeri ile Sood SK, en yüksek m indeksine sahip yazarın ise 2,333 değeri ile Sangaiah AK olduğu sonucuna varılmıştır. En alakalı yazarların incelendiği analiz ile karşılaştırıldığında sonuçların anlamlı olduğu görülmektedir.

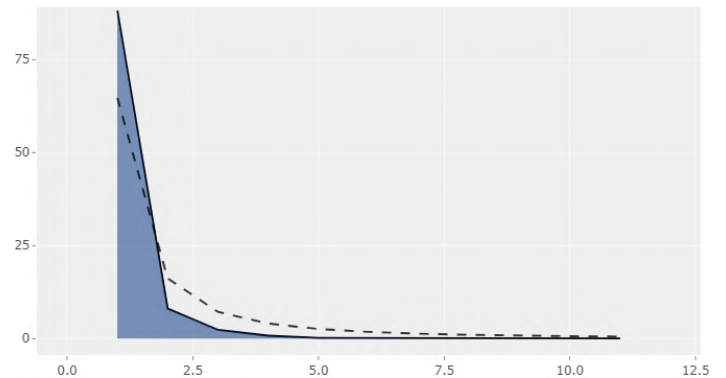
Tablo 4. Yazarlara Ait h, g, m İndeksleri ile Toplam Atıf Sayıları.

Yazar	h_index	g_index	m_index	TC*	NP*	PY_start*
YANG Y	8	10	2	249	10	2017
SOOD SK	7	11	1,4	235	11	2016
MUHAMMAD G	7	7	1,4	370	7	2016
SANGAIAH AK	7	7	2,333	299	7	2018
HOSSAIN MS	6	8	1	378	8	2015
GUIZANI M	6	7	2	73	7	2018
YANG P	6	6	1,5	193	6	2017
RODRIGUES JJPC	5	6	1	194	6	2016
RAHMANI AM	5	5	1	392	5	2016
RAY PP	4	6	1	48	6	2017

\*TC: Total Citation; Toplam Atıf; NP: Number of Production; Yayın Sayısı; PY start: Yayın Başlangıç Yılı

Lotka Kanunu'na göre ise bir alana x kadar katkıda bulunan yazar sayısı alana katkıda bulunanların tamamının  $1/x^2$  kadardır. Lotka Yasası ile yazarların çalıştıkları alanlara gelecek dönemlerde sağlayabilecekleri katkı ölçülmeye çalışılmaktadır. Ölçümlerde yazarların yayın yapma sıklığı göz önünde bulundurulmaktadır. Derginin Lotka Yasası'na uygun bir biçimde yayın yapıyor kabul edilebilmesi için yazarların %60'nın bir makaleyle dergiye katkı sağlaması, %15'inin iki makaleyle, %7'sinin ise üç makaleyle katkı sağlaması gerekmektedir (Lotka, 1926; Potter, 1988; Rowlands, 2004). Sağlık hizmetlerinde IoT uygulamaları alanına yazarların %88,1 'i bir makale ile, %8,1'i iki makale ile ve %2,4'ü üç makale ile katkıda bulunmuştur. Bu durumda alandaki yazar dağılımının Lotka Yasası'na uymadığı görülmektedir.

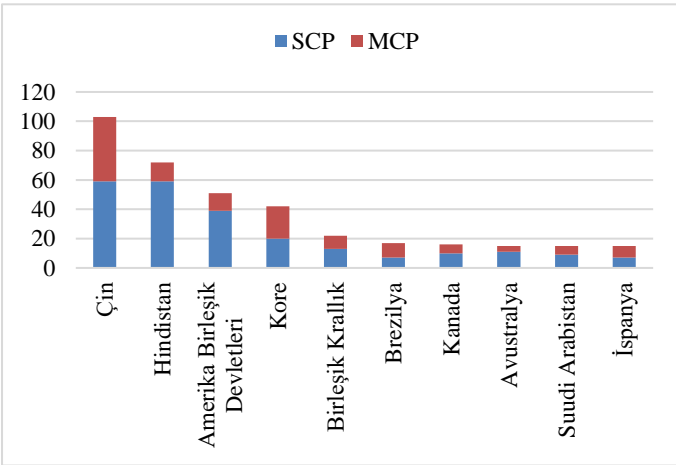
Şekil 7. Lotka Kanunu.



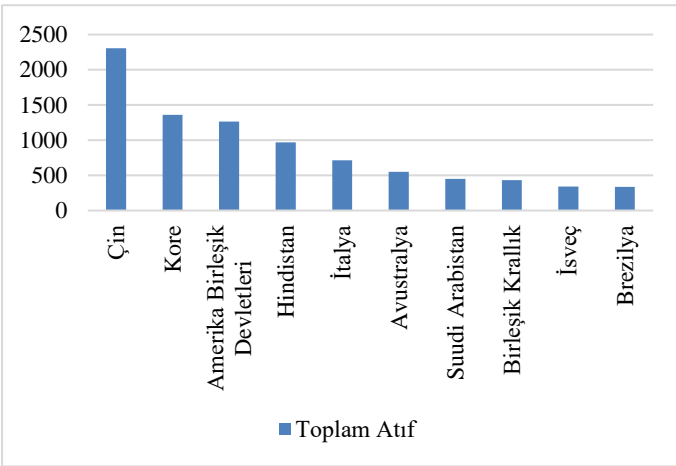
Şekil 8'de yazarların birlikte bulunabilirlikleri (co author analizi) incelendiğinde 22 kümenin oluştuğu görülmektedir. Kümeler yazarların çalışmalarıyla ilişkilendirildiğinde konunun benzerliğine göre oluşmaktadır. Alanın birbirine benzeyen veya aynı konularını çalışan yazarları bir küme oluşturmaktadır. Zaidan AA, Zaidan BB, Albahri AS, Alamoodi AH, Albahri OS, Alsalem MA ve Mohammed KI kümesini oluşturan yazarların birlikte çalıştıkları iki makale olduğu ve makalelerinde sağlık alanında IoT uygulamalarının gerçek zamanlı veri elde etmek amacı ile giyilebilir teknolojiler kısmını inceledikleri görülmektedir (Albahri vd., 2019; Talal vd., 2019). Hossain MS ve Muhammad G'nin oluşturduğu kümede yer alan makaleler incelendiğinde yazarların bir başka yazarlarla beraber yayınlanan 3 adet, yalnızca ikisinin yayınladığı ise 2 adet çalışmaları bulunmaktadır. Çalışmalarında bulut teknolojisini kullanarak IoT tabanlı bir



Şekil 9. (a) Sorumlu Yazarın Ülkesi, (b) En Çok Alıntı Yapılan Ülkeler.



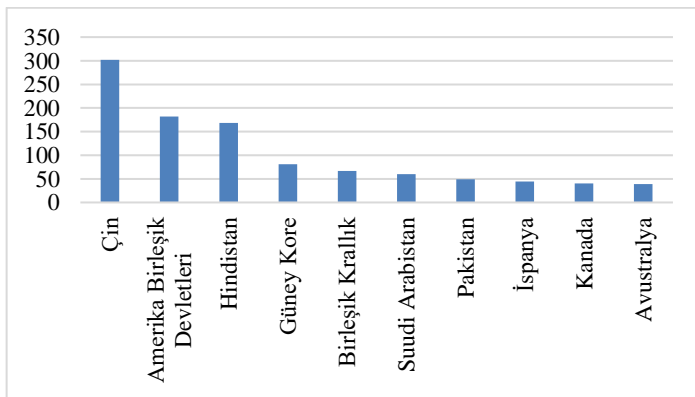
(a)



(b)

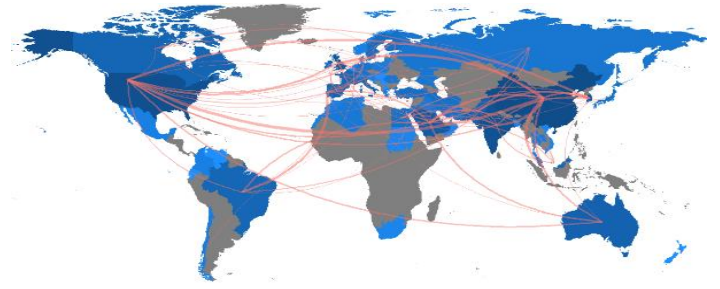
Konuya en çok katkı yapan, en üretken ülke 302 çalışma ile Çin'dir. Çin'i 182 çalışma ile Amerika Birleşik Devletleri takip etmektedir. Şekil 10'da en çok makale yayınlayan ilk 10 ülke gösterilmektedir.

Şekil 10. Ülkelerin Bilim Üretimi.



Ülkelerin iş birliği ağı ise Şekil 11'de gösterildiği gibidir. Şekli desteklemesi amacı ile ülkelerin iş birliğine ait sayısal veriler Tablo 5'te sunulmaktadır. Amerika Birleşik Devletleri ile Çin arasındaki iş birliğinin yüksek olduğu görülmektedir.

Şekil 11. Ülkelerin İş Birliği Ağı.

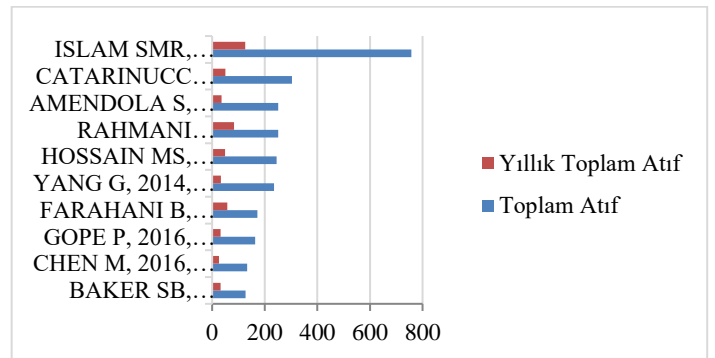


Tablo 5. Ülkelerin İş Birliğine Ait Sayısal Veriler.

Ülkeden	Ülkeye	Frekans
ABD	ÇİN	18
ÇİN	İNGİLTERE	13
KORE	ABD	11
HİNDİSTAN	ÇİN	10
PAKİSTAN	SUUDİ ARABİSTAN	10
ÇİN	SİNGAPUR	8
BREZİLYA	PORTEKİZ	7
ÇİN	SUUDİ ARABİSTAN	7
KORE	ÇİN	7
KORE	PAKİSTAN	7
ABD	İNGİLTERE	7
KORE	HİNDİSTAN	6
SUUDİ ARABİSTAN	AUSTRALYA	6
SUUDİ ARABİSTAN	PORTEKİZ	6
ABD	SUUDİ ARABİSTAN	6

Global düzeyde en çok alıntı yapılan dokümanlar Şekil 12'de gösterilmektedir. Şekle göre en çok alıntı yapılan doküman İslam SMR'nin 2015 yılında yazmış olduğu IEEE Access'te yayınlanan çalışmasıdır. Çalışma 757 atıf almıştır ve çalışmanın yıllık atıf sayısı 126,167'dir. En çok alıntı yapılan 2. doküman ise Catarinucci L'nin 2015 yılında yazmış olduğu IEEE Internet Things'te yayınlanan çalışmadır. Çalışma 303 atıf almıştır ve yıllık toplam atıf sayısı 50,5'tir. En çok alıntı yapılan dokümanın konu ile alakalı dergilerde yayınlanan çalışmalar oldukları görülmektedir.

Şekil 12. En Çok Global Alıntı Yapılan Dokümanlar.



Makalelerde en sık kullanılan kelimeler özet, anahtar kelime, kaynakça ve başlık düzeyinde analiz edilmiştir. Tablo 6 incelendiğinde makalelerin özet kısımlarında data kelimesinin 1167 kez, anahtar kelime kısımlarında internet of things kelime grubunun 135 kez, kaynakça kısımlarında internet kelimesinin 157 kez ve başlık kısımlarında ise healthcare kelimesinin 236 kez kullanıldığı görülmektedir. En sık kullanılan kelimeler genel bir biçimde incelendiğinde kelimelerin hem sağlık alanına ait

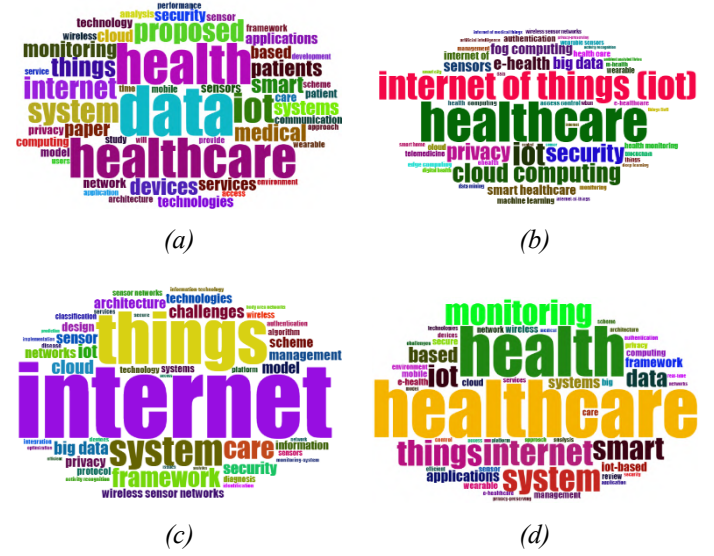
terimler hem de mühendislik alanına ait terimler olduğu sonucuna ulaşılabilmektedir.

Tablo 6. Özet, Anahtar Kelime, Kaynakça ve Başlıklarda En Sık Kullanılan Kelimeler.

	Kavram	Sıklık
Özet	data	1167
	health	953
	healthcare	930
	iot	698
	system	565
	proposed	519
	internet	517
	things	455
	medical	397
	smart	397
Anahtar Kelime	internet of things	135
	healthcare	77
	internet of things (iot)	54
	iot	45
	cloud computing	37
	security	35
	privacy	32
	e-health	25
	big data	23
	sensors	22
Kaynakça	internet	157
	things	108
	system	63
	care	45
	framework	40
	cloud	30
	iot	29
	big data	27
	challenges	27
	security	26
Başlık	healthcare	236
	health	206
	internet	108
	system	108
	things	106
	monitoring	105
	smart	96
	iot	90
	data	74
	based	64

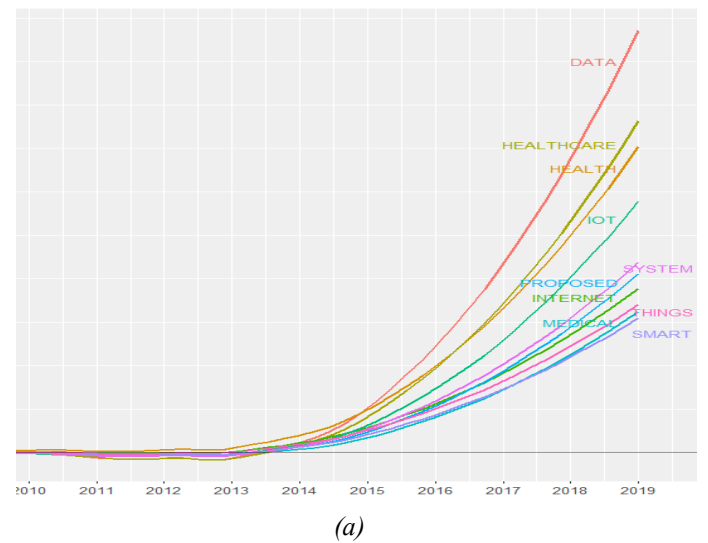
Makalelerde en sık kullanılan kelimeler kelime bulutları grafikleri aracılığı ile Şekil 13'de görselleştirilmiştir. Görsellerde kelimelerin büyük puntolar ile yazılması kullanım sıklığını ifade etmektedir. Bir kelime ne kadar büyük puntolar ile yazılmışsa o kadar sık kullanılmıştır.

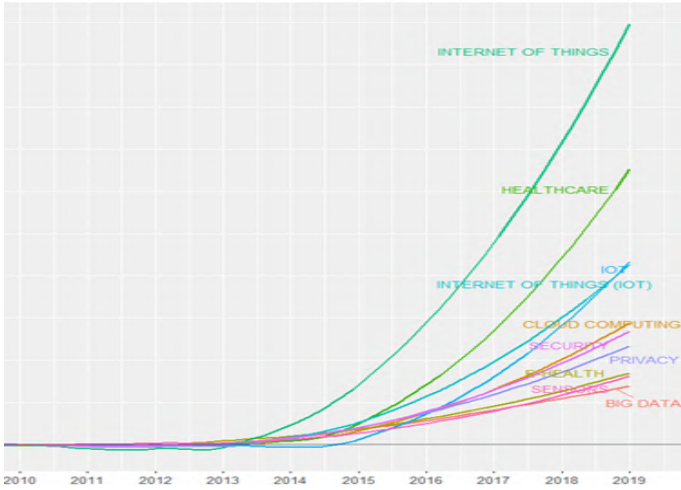
Şekil 13. (a) Özetlerin Kelime Analizi, (b) Anahtar Kelimelerin Kelime Analizi, (c) Kaynakçaların Kelime Analizi, (d) Başlıkların Kelime Analizi.



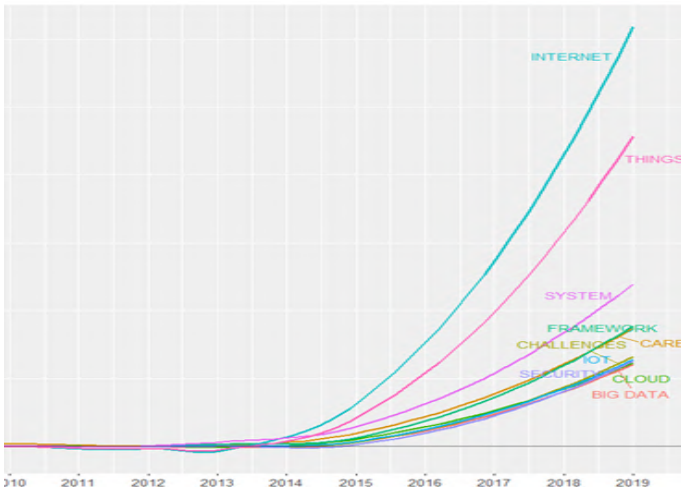
En çok kullanılan ilk 10 kelimenin yıllara göre kullanım sıklığı incelendiğinde özellikle 2014 yılından sonra kelimelerin kullanımında bir artışın söz konusu olduğu görülmektedir. Şekil 14 (a)'da big data (büyük veri) kelime grubunun anahtar kelimelerde kullanımının, Şekil 14 (c)'de ise cloud (bulut) kelimesinin kaynakçada kullanımının 2019 yılında azaldığı dikkat çekmektedir. Son yıllarda security ve privacy gibi kavramların en sık işlenen kavramlar arasında yer alması araştırmacıların sağlık hizmet kullanımında gizliliğe ve güvenilirliğe önem verdiğini göstermektedir.

Şekil 14. (a) Özetlerin Kelime Dinamikleri, (b) Anahtar Kelimelerin Kelime Dinamikleri, (c) Kaynakçaların Kelime Dinamikleri, (d) Başlıkların Kelime Dinamikleri.

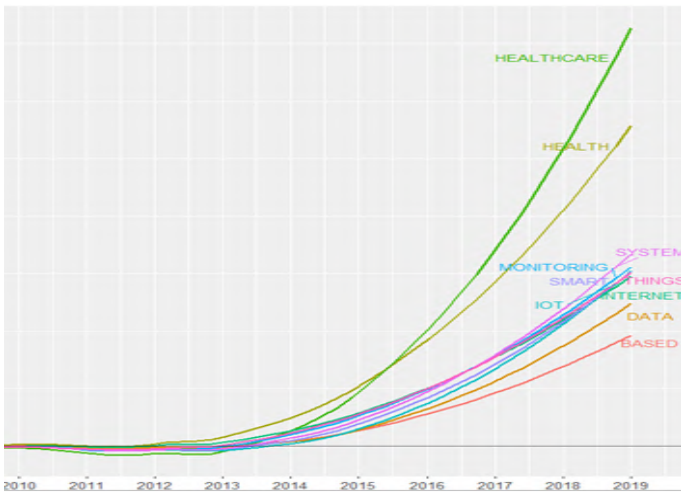




(b)



(c)



(d)

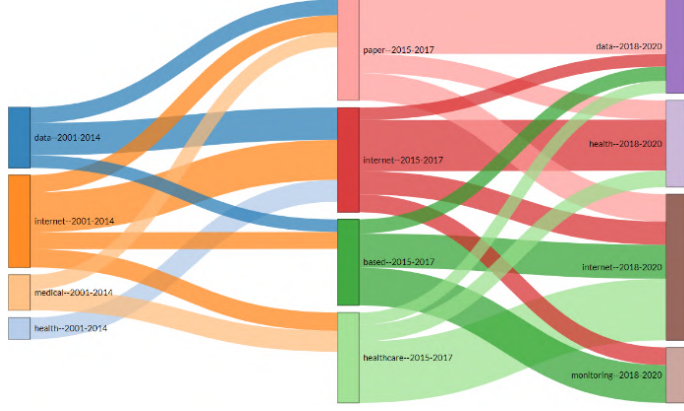
Tematik değişim kelimelerin nasıl kullanılmaya başlandığını ve zaman içerisindeki değişimlerini ifade etmektedir. Şekil 15 (a)'da özet kısmında yer alan kelimelerin tematik değişimi gösterilmektedir. 2001-2014 yılları arasındaki data, internet, medical ve health kavramlarının güncel olduğu görülmektedir. Data; paper, internet ve based kelimelerini yıllar içerisinde beslemiştir. 2001-2014 yıllarında güncel olan data kavramı 2018-

2020'de de güncelliğini korumuştur. İnternet ise daha çok kendisini beslemekle beraber paper, based ve healthcare kavramlarını da beslemiştir. 2001-2014 yılları arasında güncel bir kavram olan internet 2018-2020 arasında güncelliğinin yanı sıra oldukça büyüyen, diğer kavramlar tarafından beslenen bir kavrama dönüşmüştür. Medical paper ve healthcare kavramlarını; health ise yalnızca internet kavramını beslemiştir. 2015-2017 yıllarında paper kavramı data, health ve internet kavramlarını; internet kavramı data, health, internet ve monitoring kavramlarını; based kavramı data, internet ve monitoring kavramlarını; healthcare ise data, health ve internet kavramlarını beslemiştir. Şekil 15 (b)'de anahtar kelimelerin tematik değişimi gösterilmektedir. 2001-2014 arasında internet of things kavramının küçük bir alanı oluşturduğu görülmektedir. Kavram 2015-2017 yılları arasında kendini beslemiş ve genişlemiş 2018-2020 arasında ise oldukça büyüyen bir kavrama dönüşmüştür. Konu hakkında yapılan çalışmalarla birlikte internet of things kavramını kendisi ile beraber activity recognition, health monitoring, industrial information integration engineering, energy efficiency, m-health, healthcare ve cloud computing kavramları beslemiştir. Bu kavramların internet of things kavramının altyapısını oluşturduğu söylenebilir. 6lowpan ve radiology information system 2001-2014 yılları arasındaki anahtar kelimelerde güncel olan diğer kavramlardandır. 6low pan kendisi ile birlikte healthcare ve internet of things kavramlarını beslemiştir. Radiology information system ise cloud computing ve cloud kavramlarını beslemiştir. 2018-2020 yılları arasında internet of things, sensors, wearable, cloud computing, cloud ve ehealth kavramlarının güncel olduğu görülmektedir. Wearable önceki yıllarda güncel olmayıp sensors kavramının kendisini beslemesi ise oluşmuştur. Şekil 15 (c)'de kaynakçayı oluşturan kelimelerin değişimi gösterilmektedir. Şekle göre 2001-2014 yılları arasında care, internet, system ve posttraumatic-stress-disorder kavramları günceldir. Care 2015-2017 yılları arasında güncel olan interneti; internet kendisini, privacy ve technology kavramlarını, system kendisini ve information kavramını; posttraumatic-stress-disorder ise technologies kavramını beslemiştir. 2018-2020 yılları arasında internet, access control, technology, scheme, sensor, services, activity recognition, identification, wireless, association ve exhaled breath analysis kavramlarının ön planda olduğu görülmektedir. İnternet kavramını kendisi ile beraber big data, public health, model, privacy, system, information, technologies ve networks kavramları beslemiştir. 2018-2020 yılları arasında wireless kavramının da geliştiği görülmektedir. Kavramın altyapılarını kendisi ile beraber reduced graphene oxide oluşturmuştur. Şekil 15 (d)'de başlık kısmında yer alan kelimelerin tematik değişimi gösterilmektedir. 2001-2014 yılları arasındaki health, clinical, integration, wireless, e-health, time, internet ve parent kavramlarının güncel olduğu görülmektedir. Health kavramı yalnızca kendisini beslemiş ve 2015-2017 yılları arasında varlığını sürdürmeye devam etmiştir. Clinical care kavramını; integration ise care, system ve healthcare kavramlarını beslemiştir. Wireless kendisi ile beraber care, health, system kavramlarını beslemiştir. E-health health, health care ve wireless kavramlarını, time ise health, wireless ve things kavramlarını beslemiştir. İnternet ve parent birlikte things kavramını beslemiştir. 2018-2020 yılları arasında based, health, iot, computing, healthcare, network ve internet kavramlarının güncel olduğu görülmektedir. Based kavramını decision, care ve system; health kavramını care, health, system, healthcare ve wireless kavramları beslemiştir. IoT kavramını care, system, wireless ve things kavramları; computing kavramını ise yalnızca system

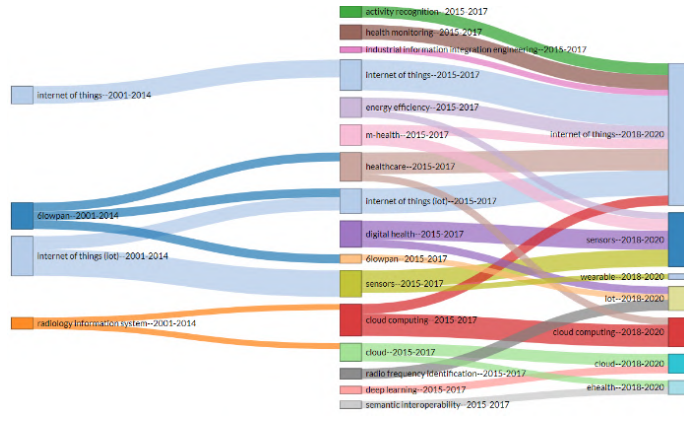


beslemiştir. Healthcare kavramını health, healthcare, wireless, data kavramları; network kavramını wireless ve internet kavramını things beslemiştir. Health kavramının yıllar içerisinde alandaki yerinin büyüdüğü dikkat çekmektedir.

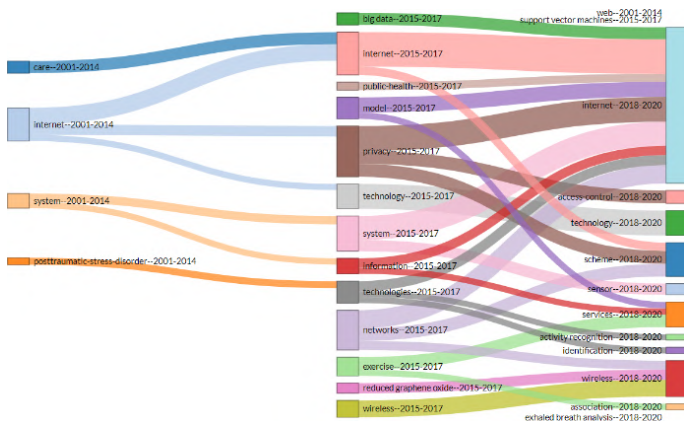
Şekil 15. (a) Özet Kelimelerinin Tematik Değişimi, (b) Anahtar Kelimelerinin Tematik Değişimi, (c) Kaynakça Kelimelerinin Tematik Değişimi, (d) Başlık Kelimelerinin Tematik Değişimi.



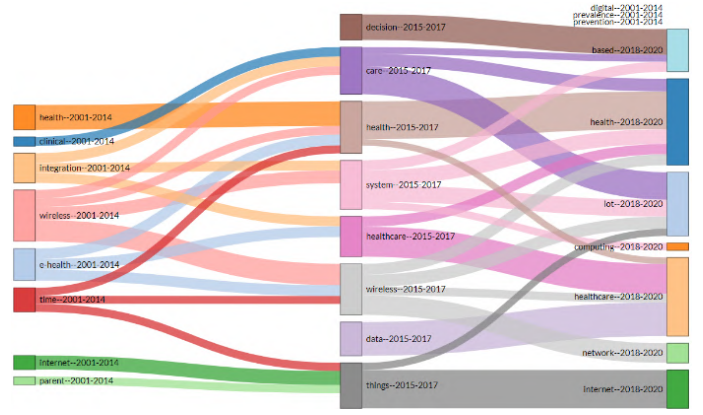
(a)



(b)



(c)



(d)

Yıllar içerisinde ön plana çıkan konular Tablo 7’de gösterildiği gibidir. Konular belirlenirken en az 5 kez işlenmiş olması şartı aranmıştır. Anahtar kelimelerde, başlıklarda, özetlerde ve kaynakçalarda en az beş kez işlenen ilk 14 konu listelenmiş ve yılları belirtilmiştir. f ile gösterilen değerler konuların işlenme sıklığını göstermektedir. Tabloya göre anahtar kelimelerde en çok yer alan konu Internet of Things 35 kez işlenmiştir. Başlıklarda ise çok healthcare konusu yer almış ve 225 kere işlenmiştir. Özetlerde en çok işlenen konu 1144 işlenme sıklığı ile data olmuştur. Kaynakçada en çok yer alan konu ise internet konusudur ve 150 kez işlenmiştir. Tabloda verilen konular en çok işlenen konulardan en az işlenen konulara göre sıralanmaktadır. 2019 yılında anahtar kelimelerde healthcare 73 kere, başlıklarda Iot 87 kere, özetlerde Iot 679 kere, kaynakçalarda ise framework 39 kere işlenerek en çok işlenen kavramlar olmuşlardır.

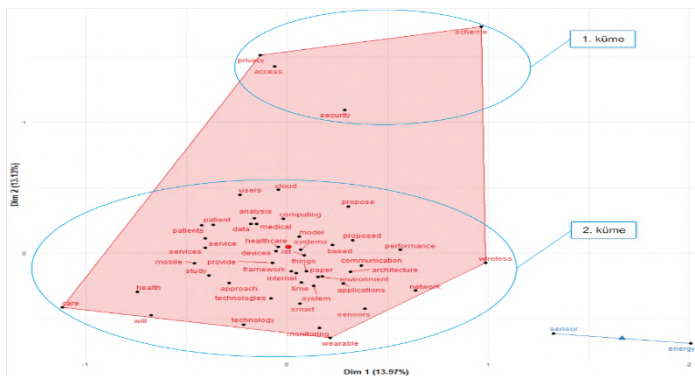
Tablo 7. Trend Konuların Yıllara Göre Dağılımı.

	Konu	f	Yıl
Anahtar Kelime	Internet of Things	129	2018
	Healthcare	73	2019
	Internet of Things (Iot)	53	2018
	Iot	43	2019
	Security	35	2018
	Cloud Computing	35	2018
	Privacy	32	2018
	Fog Computing	21	2019
	Smart Healthcare	17	2019
	Internet of	15	2019
	Authentication	11	2017
	Health Monitoring	11	2017
	Digital Health	7	2017
	Internet	6	2016
Başlık	Healthcare	225	2018
	Health	201	2018
	Internet	105	2018
	Monitoring	104	2018
	System	104	2018
	Things	104	2018
	Iot	87	2019
	Computing	29	2019
	Mobile	27	2019
	Environment	22	2019
	Review	22	2019
	Design	14	2017

Özet	Clinical	11	2017
	Body	11	2017
	Data	1144	2018
	Health	920	2018
	Healthcare	900	2018
	Iot	679	2019
	System	534	2018
	Internet	501	2018
	Security	269	2019
	Network	229	2019
	Privacy	216	2019
	Study	167	2019
	Support	83	2017
	Node	29	2017
	Flexible	28	2017
Prevention	28	2017	
Kaynakça	Internet	150	2018
	Things	106	2018
	System	61	2018
	Care	44	2018
	Framework	39	2019
	Cloud	28	2018
	Challenges	27	2019
	Iot	27	2019
	Big Data	25	2019
	Security	24	2019
	Wireless	13	2017
	Sensor Networks	12	2017
	Information-Technology	8	2017
	Service	6	2017

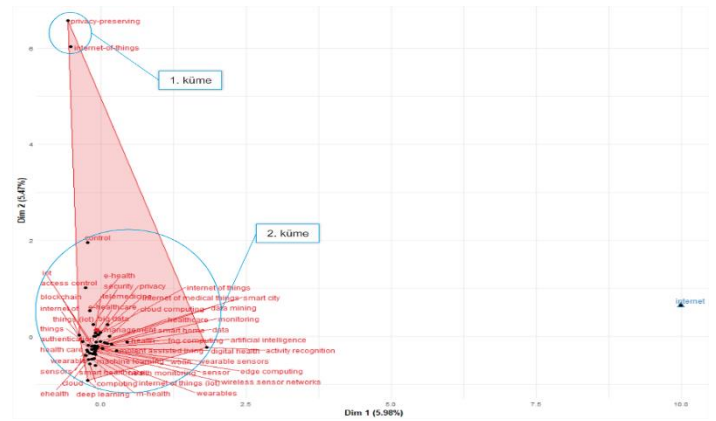
Özetlerin kelime haritası incelendiğinde kırmızı ve mavi renk ile gösterilen iki oluşumun yer aldığı görülmektedir. Bu oluşumlarda dağınık halde olan konu belli başlıklar altında toplanmıştır. Mavi renk ile gösterilen yapı sensor ve energy kavramlarından oluşmuştur. Küme IoT'de sensörler ve enerji konularının işlendiği çalışmalar şeklinde ifade edilebilir. Kırmızı renk ile gösterilen yapı ise daha geniş sınırları olan ve iki alt kümeden oluşan bir yapıdır. Birinci kümeyi scheme, privacy ve access kavramları oluşturmaktadır. Bu alt küme IoT'de erişimde gizlilik ve güvenlik sorunları olarak adlandırılabilir. İkinci alt kümeyi ise cloud, users, patient, analysis, computing, propose, service, mobil, study, environment, applications, network, architecture, framework, monitoring gibi birçok kavram oluşturmaktadır. Küme IoT'de sağlığın izlenmesi uygulamalarında kablosuz ağ performansları ve önerilen mimariler şeklinde ifade edilebilir. (Şekil 16, Şekil 17 ve Şekil 18 correspondence analizine göre yapılmıştır.)

Şekil 16. Özetlerin Kelime Haritası.



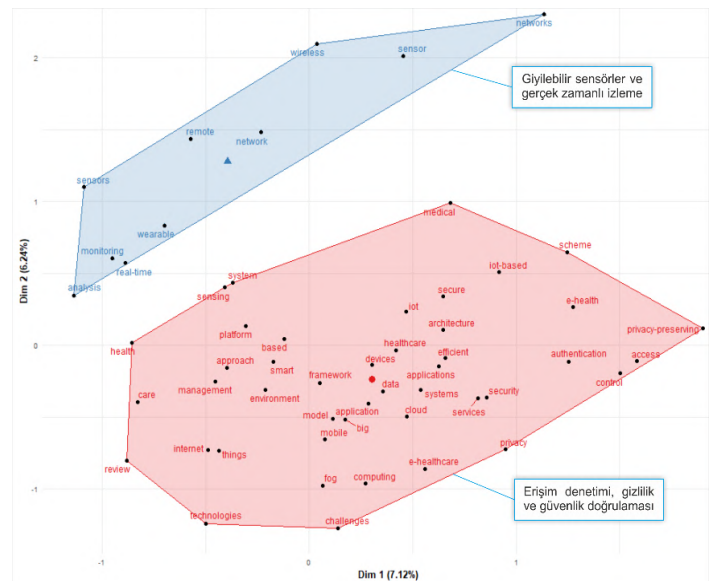
Anahtar kelimelerin haritası incelendiğinde mavi renkli kümeyi internet kelimesinin oluşturduğu görülmektedir. Küme IoT tabanlı sağlık hizmetlerinin araştırılmasında internet kullanımı olarak ifade edilebilir. Kırmızı renkli küme ise iki alt kümede incelenebilmektedir. Kümelerden ilkinin privacy preserving ve internet of things kavramları oluşturmaktadır. Küme IoT'de gizliliğin korunması olarak ifade edilebilir. İkinci kümeyi ise activity recognition, data, wearable sensors, health, cloud computing, big data, smart home, healthcare, ambient assisted living, privacy, smart city, internet of medical things, monitoring, fog computing gibi kavramlar oluşturmaktadır. Bu geniş küme giyilebilir teknolojiler aracılığı ile etkinlik tanıma, sağlık hizmetlerinde bulut ve sis bilişim olarak ifade edilebilir.

Şekil 17. Anahtar Kelimelerin Haritası.



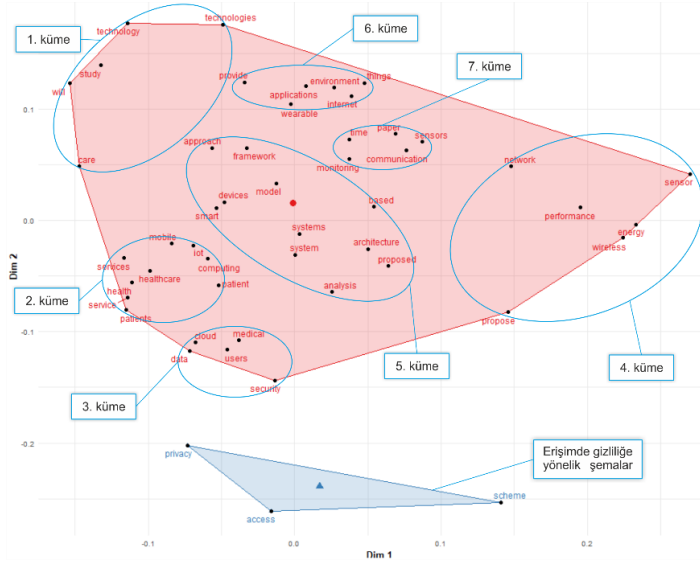
Başlıkların oluşturduğu küme incelendiğinde mavi ve kırmızı renkli iki oluşumun bulunduğu görülmektedir. Kırmızı küme access, control, e-health, authentication, scheme, privacy, iot-based, security, services, medical, efficient, secure, architecture kavramlarının yer aldığı kümedir. Küme IoT tabanlı e-sağlık uygulamalarında erişimin denetimi, hizmet sunumunda güvenlik ve gizliliğin doğrulanması olarak ifade edilebilir. Mavi küme ise monitoring, wearable, wireless, network, real-time, sensor, analysis, sensors, remote kavramlarının yer aldığı kümedir. Mavi küme giyilebilir sensörler aracılığı ile gerçek zamanlı izleme olarak ifade edilebilir.

Şekil 18. Başlıkların Kelime Haritası.



Özetlerde yer alan kelimelerin oluşturduğu küme incelendiğinde kırmızı ve mavi ile gösterilen iki oluşumun meydana geldiği görülmektedir. Kırmızı küme daha geniştir ve kendi içerisinde yedi alt kümeye ayrılabilir. İlk küme technologies, technology, study, will ve care kavramlarının oluşturduğu kümedir ve küme sağlık bakım teknolojilerinin geleceği olarak ifade edilebilir. İkinci küme mobile, iot, computing, patient, healthcare, services, health, service, patients kavramlarından oluşmaktadır bu küme de mobil sağlık hizmetleri şeklinde ifade edilebilir. Üçüncü küme medical, users, cloud, data ve security kavramlarından oluşmaktadır. Küme bulut destekli medikal uygulamalar ve kullanıcı verilerinin güvenliği şeklinde ifade edilebilir. Dördüncü küme sensor, energy, wireless, performance, network ve propose kavramlarından oluşmaktadır küme kablosuz ağ ve sensörlerin enerji performansı şeklinde ifade edilebilir. Beşinci küme ise approach, framework, devices, smart, model, systems, system, analysis, architecture, based, proposed kavramlarından oluşmaktadır. Beşinci küme IoT tabanlı akıllı cihazlarda önerilen sistem ve mimariler olarak ifade edilebilir. Altıncı küme things, environment, provide, applications, internet, wearable kavramlarından oluşmaktadır. Küme IoT tabanlı ortama duyarlı giyilebilir teknolojilerin geliştirilmesi şeklinde ifade edilebilir. Son küme olan yedinci küme ise time paper, sensors, monitoring, communication kavramlarından oluşmaktadır. Küme sensörler arası iletişim ve sensörlerin eş anlı izlenmesi şeklinde ifade edilebilir. Mavi küme ise privacy, Access ve sheme kavramlarından oluşmaktadır. Küme erişimde gizliliğin sağlanmasına yönelik şemalar olarak ifade edilebilir. (Şekil 19, Şekil 20, Şekil 21 ve Şekil 22 multidimensional scaling analizine göre yapılmıştır.)

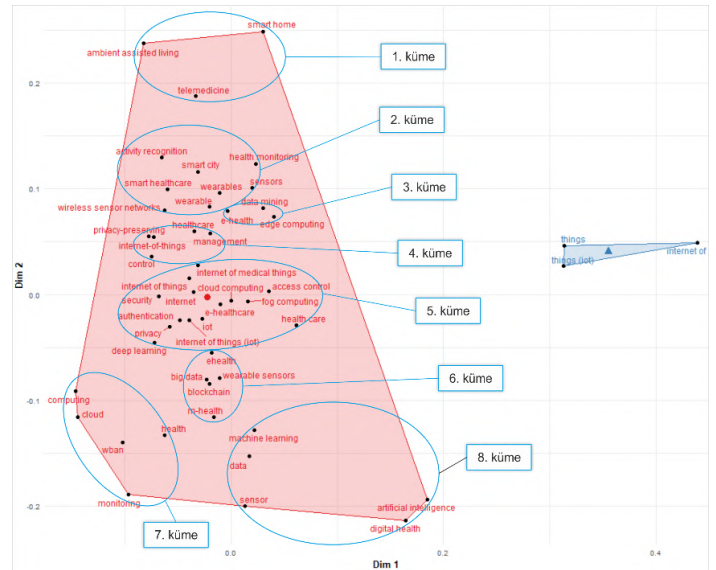
Şekil 19. Özetlerin Kelime Haritası.



Anahtar kelimelerde yer alan kavramların kümelenmeleri incelendiğinde yine geniş bir kırmızı yapı ile mavi yapı oluşmuştur. Mavi kümeyi oluşturan kavramlar things, thing (iot), internet of kavramlarıdır. Küme nesnelerin interneti şeklinde ifade edilebilir. Kırmızı küme ise sekiz alt kümede ifade edilebilir. Kırmızı yapıyı oluşturan birinci kümede smart home, telemedicine ve ambient assisted living kavramları yer almaktadır. Birinci küme ortam destekli sağlık hizmet bakımını olarak ifade edilebilir. Bu kümede daha çok kişisel sağlık hizmetlerinde kullanılan akıllı evler, ortama duyarlı cihazlar ve teletıp uygulamalarının yer aldığı söylenebilir. İkinci küme activity recognition, health monitoring, smart city, sensors, smart healthcare, wearable, wearables,

wireless sensor networks kavramlarından oluşmaktadır. Küme sağlığın izlenmesinde giyilebilir kablosuz ağ teknolojileri ve sensörler aracılığı ile davranış tanımlama şeklinde ifade edilebilir. Üçüncü küme data mining, edge computing ve e-health kavramlarından oluşmaktadır. Küme sağlık hizmetlerinde veri madenciliği ve verilerin depolama hesaplamaları şeklinde ifade edilebilir. Dördüncü küme privacy-preserving, healthcare, management, internet of things ve control kavramlarından oluşmaktadır. Küme sağlık hizmetleri yönetimi ve IoT uygulamalarında gizliliğin kontrolü şeklinde ifade edilebilir. Beşinci küme internet of medical things, cloud computing, access control, fog computing, internet of things, internet, security, authentication, e-healthcare, iot, internet of things (iot), privacy, deep learning kavramlarından oluşmaktadır. Küme medikal nesnelerin internetinde bulut ve sis bilişimlerde erişimin kontrolü ve gizliliğin sağlanması amacı ile kimlik doğrulama uygulamaları şeklinde ifade edilebilir. Altıncı küme big data, block chain, wearable sensors kavramlarından oluşmaktadır. Küme giyilebilir teknolojilerde elde edilen verilerin üçüncü tarafların erişiminin engellenmesi şeklinde ifade edilebilir. Yedinci küme computing, cloud, wban ve monitoring kavramlarından oluşmaktadır. Küme giyilebilir teknolojilerde bulut bilişimi hesaplamaları şeklinde ifade edilebilir. Sekizinci küme machine learning, data, sensor, artificial intelligence ve digital health kavramlarından oluşmaktadır. Küme dijital sağlık uygulamalarında makine öğrenmesi ve yapay zeka uygulamaları şeklinde ifade edilebilir.

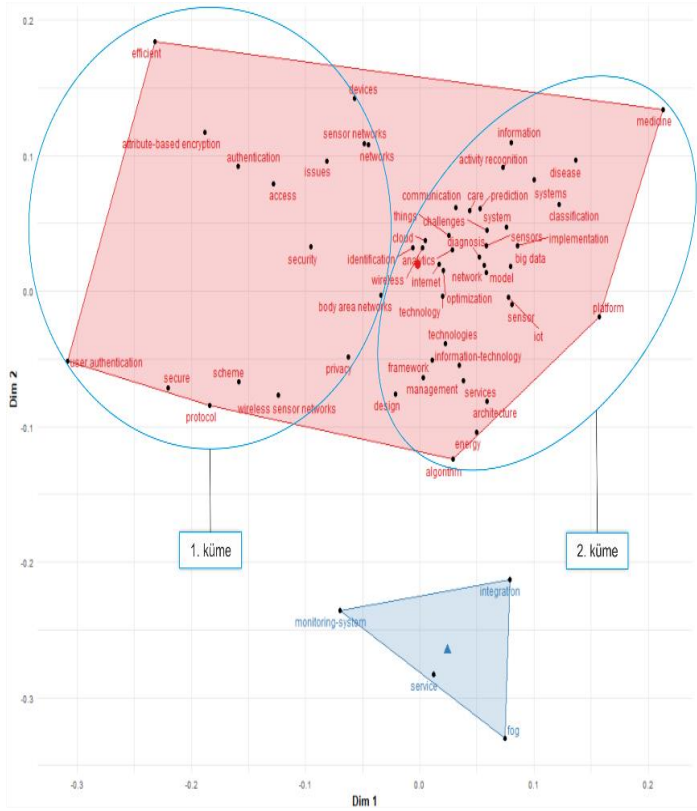
Şekil 20. Anahtar Kelimelerin Haritası.



Keywords plus kısmında yer alan kelimelerin oluşturduğu yapıda ise yine kırmızı geniş bir küme yer almaktadır. Fakat mavi yapının sınırlarının geliştiği görülmektedir. Mavi kümede integration, monitoring system, service ve fog kavramları yer almaktadır. Küme sağlık izleme sistemlerinin entegrasyonu ve sis bilişim şeklinde ifade edilebilir. Kırmızı küme ise kendisini oluşturan iki alt kümeye sahiptir. Birinci kümeyi oluşturan kavramlar efficient, attribute-based encryption, authentication, user authentication, secure, protocol, acces, issues, devices, sensor networks, networks kavramlarıdır. Küme IoT tabanlı cihaz ve ağların verimliliği ile erişimde güvenlik şeklinde ifade edilebilir. İkinci küme ise platform, classification, systems, implementation, sensor, system, iot, big data, information, activity recognition, challenges, architecture, sensors, model, energy, diagnosis, prediction, care, services, things, analytics, information-technology, algorithm, internet, technology,

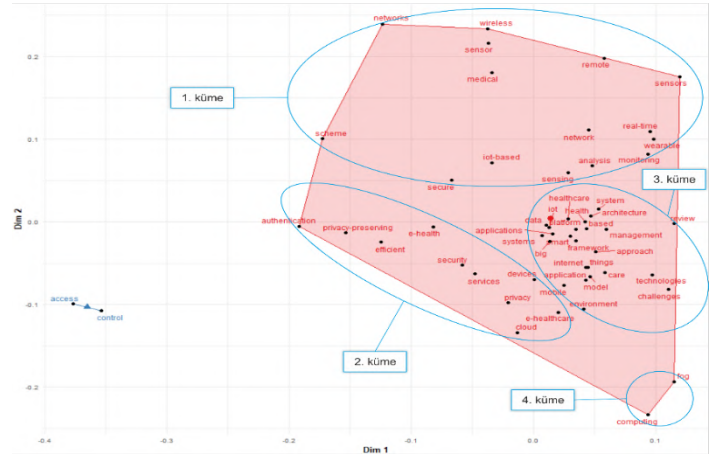
technologies, optimization, framework kavramlarının yer aldığı kümedir. Küme IoT aracılığı ile hastalığın tahmin edilmesi, teşhis ve tedavisinin yapılması ile bu hizmetlere yönelik geliştirilen sistemlerin mimarisi şeklinde ifade edilebilir.

Şekil 21. Kaynakçaların Kelime Haritası.



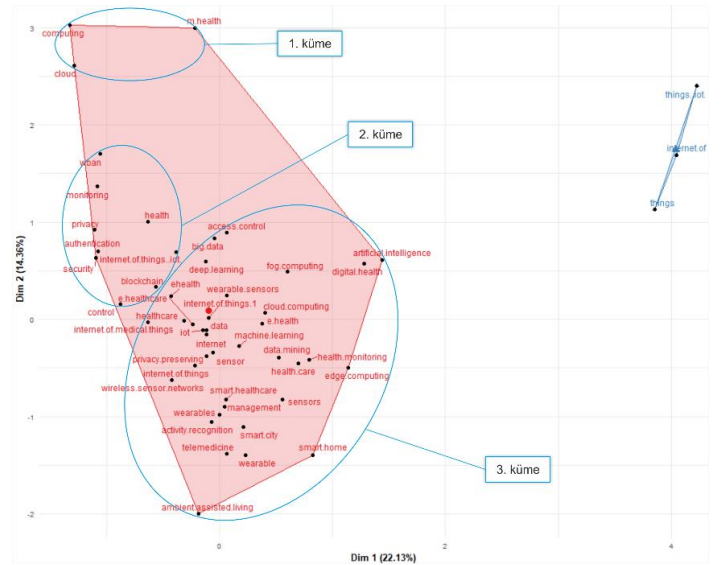
Başlıklarda yer alan kavramların kümelenmeleri incelendiğinde yine geniş bir kırmızı yapı ile mavi yapı oluşmuştur. Mavi kümeyi oluşturan kavramlar access ve control kavramlarıdır. Küme IoT tabanlı uygulamalarda erişimin kontrolü şeklinde ifade edilebilir. Kırmızı yapı ise kendisini oluşturan alt kümelerden meydana gelmiştir. Birinci kümede networks, wireless, sensor, medical, remote, sensors, real time, wearable, monitoring, analysis, network, iot-based kavramları yer almaktadır. Bu küme medikal uygulamalarda IoT tabanlı sensörlerin uzaktan ve eş zamanlı izlenmesi şeklinde ifade edilebilir. İkinci küme authentication, privacy-preserving, efficient, e-health, security, services, privacy, e-healthcare, cloud kavramlarından oluşmaktadır. Küme e-sağlık uygulamalarında gizliliğin korunması şeklinde ifade edilebilir. Üçüncü kümede healthcare, system, iot, health, architecture, based, platform, data, applications, systems, smart, framework, management, approach, things, care ve internet kavramları yer almaktadır. Küme IoT tabanlı sağlık uygulamalarının mimari kısmını içermektedir. Küme bulut destekli uygulamalar, bu uygulamaların mimarisi, zorlukları ve yönetimi şeklinde ifade edilebilir. Dördüncü küme ise fog ve computing kavramlarından oluşmaktadır. Küme IoT uygulamalarındaki sis hesaplamaları şeklinde ifade edilebilir.

Şekil 22. Başlıkların Kelime Haritası.



Anahtar kelimelerde yer alan temel kavramların kümelenmeleri incelendiğinde kırmızı yapının geniş sınırları olduğu görülmektedir. Yapıyı oluşturan çeşitli alt kümeler mevcuttur. Birinci kümeyi oluşturan kavramlar m health, computing ve cloud kavramlarıdır ve küme bulut destekli mobil sağlık uygulamaları şeklinde ifade edilebilir. İkinci kümeyi oluşturan kavramlar wban, monitoring, privacy, health, authentication, security, internet of things ve blockchain kavramlarıdır. Küme IoT tabanlı giyilebilir teknolojilerin izlenmesinde gizlilik, güvenlik ve kimlik doğrulama şeklinde ifade edilebilir. Üçüncü küme ise diğer iki kümeye göre daha geniş kavramları içerisinde barındırmaktadır. Kümeyi oluşturan kavramlar access control, big data, deep learning, fog computing, digital health, artificial intelligence, smart healthcare, healthcare, wearable, smart home, ambient assisted living, telemedicine, activity recognition management, data mining kavramlarıdır. Küme akıllı sağlıkta veri erişiminin kontrolü ve kişiselleştirilmiş sağlık hizmetleri şeklinde ifade edilebilir. Mavi küme ise things iot, internet of ve things kavramlarından oluşmakta ve nesnelerin internetini ifade etmektedir. (Şekil 23, Şekil 24 ve Şekil 25 multiple correspondence analizine göre yapılmıştır.)

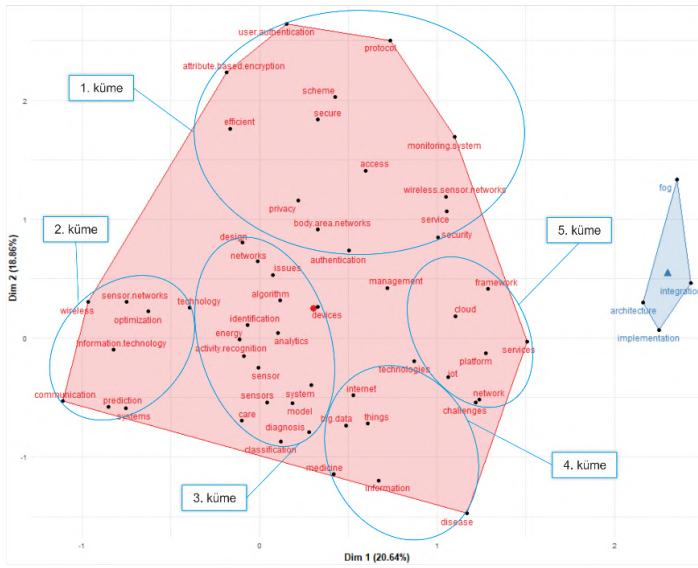
Şekil 23. Anahtar Kelimelerin Haritası.



Kaynakça kısmında yer alan temel kavramların kümelenmeleri incelendiğinde kırmızı yapının yine geniş sınırları olduğu görülmektedir. Mavi yapıyı oluşturan kavramlar fog, integration, architecture ve implementation kavramlarıdır. Küme

IoT'de bulut uygulamalarının mimarisi ve entegrasyonu olarak tanımlanabilir. Kırmızı küme çeşitli alt kümelerden oluşmaktadır. Birinci küme user authentication, attribute based encryption, scheme, efficient, secure, monitoring system, access, wireless sensor networks, service, security, body area networks ve authentication kavramlarından oluşmaktadır. Küme giyilebilir teknolojiler ve izleme sistemlerinde verimlilik, gizlilik ve kimlik doğrulama uygulamaları şeklinde ifade edilebilir. İkinci küme wireless, sensor networks, optimization, information technology, communication, prediction, technology ve systems kavramlarından oluşmaktadır. Kablosuz ağların optimizasyonu ve tahmin sistemleri şeklinde ifade edilebilir. Üçüncü kümeyi oluşturan kavramlar design, networks, issues, algorithm, identification, analytics, energy, devices, activity recognition, sensor, sensors, system, model, diagnosis ve classification kavramlarını içermektedir. Küme sensörler aracılığı ile etkinlik tanıma, elde edilen verilerin tanımlanması, sınıflandırılması ve veri algoritmalarının analizi şeklinde ifade edilebilir. Dördüncü küme big data, medicine, information, disease, internet, technologies, things, kavramlarından oluşmaktadır. Küme sağlık ve bilgi teknolojilerinde IoT tabanlı uygulamalar şeklinde ifade edilebilir. Beşinci küme iot, platform, challenges, services, framework, cloud kavramlarından oluşmaktadır. Küme bulut teknolojilerindeki zorluklar şeklinde ifade edilebilir.

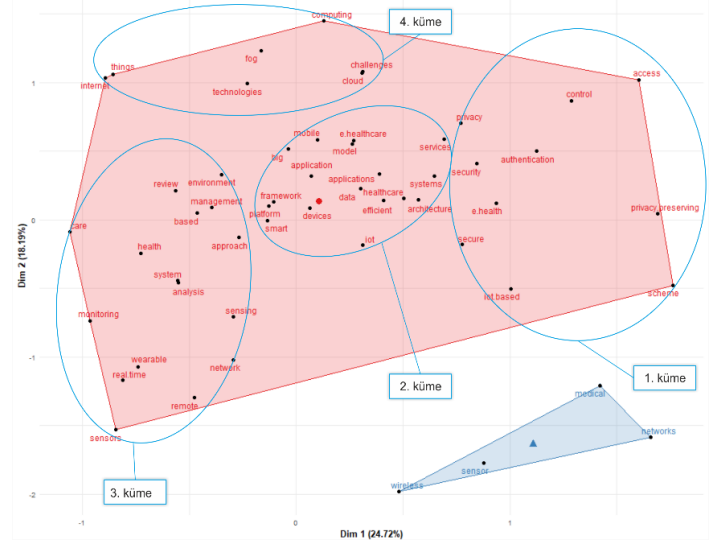
Şekil 24. Kaynakçaların Kelime Haritası.



Başlık kelimelerinde yer alan temel kavramların kümelenmeleri incelendiğinde kırmızı yapının içerisinde alt kümeleri barındırdığı görülmektedir. Mavi yapı ise wireless, sensor, medical ve networks kavramlarından oluşmuştur. Küme sağlıkta kablosuz ağlar ve sensörler şeklinde ifade edilebilir. Kırmızı yapıyı oluşturan birinci alt küme ise access, privacy preserving, scheme, iot based, control, authentication, privacy, security, services, e health ve secure kavramlarından oluşmaktadır. Küme IoT tabanlı uygulamalarda erişimin kontrol edilmesi ve gizliliğin sağlanması şeklinde ifade edilebilir. İkinci küme framework, devices, data, healthcare, applications, efficient, iot, architecture, system, services, platform, mobile, model, e healthcare kavramlarından oluşmaktadır. Küme akıllı sağlık sistemlerinin mimarisi ve verimliliği şeklinde ifade edilebilir. Üçüncü küme environment, management, based, approach, system, analysis, sensing, network, remote, sensors, wearable, real time, monitoring, health ve care kavramlarından oluşmaktadır. Küme sağlık bakımında giyilebilir teknolojiler ile

eş anlı ve uzaktan izleme şeklinde ifade edilebilir. Dördüncü küme computing, fog, technologies, things ve internet kavramlarından oluşmaktadır. Küme sis ve bulut bilişim teknolojilerinin zorlukları şeklinde ifade edilebilir.

Şekil 25. Başlıkların Kelime Haritası.



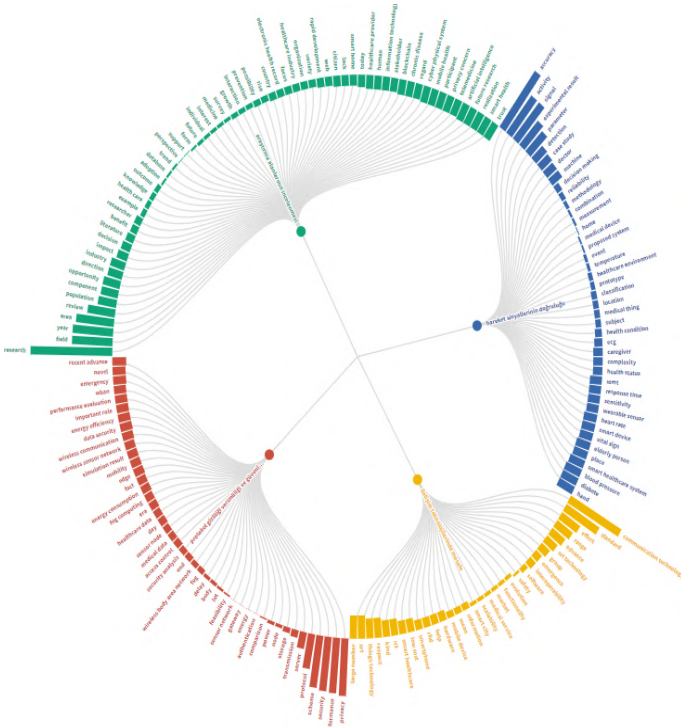
Çalışmanın veri setini oluşturan makaleler VOSviewer programı ile analiz edilerek en az 10 kez kullanılan kelimeler belirlenmiştir. Kelimeler standardize edilerek kullanım sıklığına ve dahil oldukları konuyu göre gruplandırılmıştır. Şekil 26 (a)'da kelimeler sunburst grafiği yardımı ile 26 (b)'de radial grafik ile görselleştirilmiştir. Şekilde büyük puntolar ile gösterilen küme sağlık hizmetlerinde IoT uygulamaları literatüründe araştırma alanlarının incelendiği çalışmalar şeklinde ifade edilebilmektedir. Fırsatlar, zorluklar gibi bileşenlere ait çalışmaların bu grubu oluşturduğu söylenebilir. Bu kümelemede en çok kullanılan sözcükler sırası ile research, field, year, area, review, population, component ve opportunity sözcükleridir. Kahverengi ile gösterilen küme ise verilerin aktarımı esnasında uygulanan kuralların ve protokollerin gizliliklerinin, verimliliklerinin ve güvenliklerinin belirlenmesine yönelik çalışmalardan oluşmaktadır. Kahverengi kümede en çok kullanılan ilk 5 sözcük sırası ile privacy, performance, security, scheme ve protocol sözcükleridir. Mavi renk ile gösterilen küme hareket sinyallerinin doğruluğu ve çeşitli parametrelerin deneysel ölçümlerine dayanan çalışmaların oluşturduğu kümedir. Akıllı sensörlerin sağlık alanında kullanılarak çeşitli girdileri (hataların izlenmesi, hareketleri, tıbbi verileri) sinyallere dönüştürmesi ile ilgili yapılan deneysel çalışmalar bu kümede yer almaktadır. Mavi kümede en çok kullanılan ilk 5 sözcük sırası ile accuracy, activity, signal, experimental result ve parameter sözcükleridir. Sarı renk ile gösterilen küme daha çok iletişim teknolojilerindeki gelişmelerin ve bu alanda standart etki büyüklüklerinin yer aldığı çalışmalardan oluşmaktadır. Sarı kümede en çok kullanılan ilk 5 sözcük sırası ile communication technology, standard, effect, range ve advance sözcükleridir. Makaleler herhangi bir alan veya konu ayırımı yapılmadan değerlendirildiğinde ise en çok kullanılan ilk 10 kavram research, privacy, performance, security, scheme, accuracy, protocol, signal activity ve field kavramlarıdır. Bu kavramların sıklıkla kullanılıyor oluşu makalelerde işlenen konular hakkında ipucu vermektedir. Research her ne kadar geniş kapsamı olan bir kelime olsa da. Privacy, performance, security gibi kavramlar sağlık hizmetlerinde IoT uygulamalarında gizliliğin, performansın ve güvenliğin esasında sıklıkla

tartışıldığını göstermektedir. Bununla birlikte söz konusu kavramlar kümeleri oluşturan konulara da işaret etmektedir.

Şekil 26. (a) Sunburst Grafiği, (b) Radial Grafik.



(a)



(b)

### 3.2. Tartışma

Günümüzde özellikle Japonya, ABD ve Avrupa'da evde tedavi gören hasta sayısı ile yaşlı nüfusun artması sebebiyle sağlık hizmet sunum sürecine IoT'deki gelişmelerle birlikte akıllı telefonlar, gömülü cihazlar gibi ekipmanlar dahil olmuştur (Mano vd., 2016). Bunun yanı sıra hastalık tahmin ve teşhis sistemleri (P.

M. Kumar, Lokesh, Varatharajan, Babu, & Parthasarathy, 2018), akıllı kişisel asistanlar (Santos vd., 2016b), sağlık uygulamalarında güvenliğin sağlanmasında büyük verinin yeri (Suciu vd., 2015) ve aynı zamanda büyük verilerin güvenilir bir şekilde işlenmesinin sağlanması (Nepal, Ranjan, & Choo, 2015) özellikle tartışılan konular arasındadır. Ayrıca sağlık hizmetlerindeki IoT tabanlı teknikler de incelenmiştir (Rodrigues, JJPC Segundo vd., 2018) ve sağlık alanında IoT uygulamalarına ait çalışmalar incelendiğinde sağlık sektöründeki IoT uygulamalarının özetlendiği ve gelecekteki araştırmalara yön verilmeye çalışıldığı görülmektedir. Gelecekteki iyileştirmeler için kendi kendine öğrenme ve kendini geliştirme, donanım, standardizasyon, gizlilik ve güvenlik konularına yönelik çalışmalar yapılmış (Yin vd., 2016) sağlık sisteminde verilerin aktarılması ile ilgili güvenlik endişelerinin giderilmesi için blockchain tabanlı akıllı sözleşmeler kullanılması önerilmiştir (Griggs vd., 2018). Bununla birlikte IoT özellikli bir sağlık sisteminde günlük yaşam verilerinin geçerliliğinin artırılması için fiziksel etkinlik bir hedef olarak ele alınmıştır (P. Yang vd., 2018). IoT tabanlı mobil ağ geçidi çözümleri önerilmiş ve bu ağ geçidi ile hastanın yeri, kalp atışı ve olası düşme riski hakkında olarak bilgi toplanmıştır. Toplanan bilgilerin gerçek zamanlı olarak bir akıllı kişisel asistana iletilmesi sağlanmıştır. Bu sayede çeşitli sensörler aracılığı ile kişisel asistanı kullanan bakıcılara hastalarının sağlık durumlarını her zaman ve her yerde kontrol etme fırsatı sunulmuştur (Santos vd., 2016b).

Yakın tarihli çalışmalar incelendiğinde ise sağlık hizmetlerinde sensör bulutunda anormalliğin algılanması (Kumar Dwivedi, Kumar, & Buyya, 2021), IoT tabanlı sağlık hizmetlerinde reçete analizi gibi uygulamalar için kelime benzerliği ölçüm yöntemi (Zhang vd., 2021), IoT tabanlı akıllı hastanelerde tasarımı etkileyen faktörlerin analizi (Uslu, Çalış, Okay, & Dursun, 2020), solunum hastalıklarında sağlık hizmeti internetinin tasarımı ve uygulanması (Tsai vd., 2020), klinik deneylerin iyileştirilmesinde ileri teknolojilerin uygulanmasına yönelik sistematik haritalama (Ngayua, He, & Boahene, 2020), hastalığın erken teşhisi için güvenli uzaktan sağlık izleme modeli (Akhbarifar, Javadi, Rahmani, & Hosseinzadeh, 2020), kontrol edilemeyen gizlilik hesaplamalarının algılanan kontrol ve ahlaki hususların IoT tabanlı sağlık cihazlarının kullanımına etkisi (Princi & Kramer, 2020), IoT'nin sağlık hizmetlerinde kullanımının etkisi ve sonuçları (Kelly, Campbell, & Scuffham, 2020), doktorların Covid-19 salgını sırasında Irak'ta iot tabanlı ağıllı cihazlarını kullanma niyetlerinin incelenmesi (Alhasan vd., 2020), C-ortalamalar algoritması kullanılarak sağlık hizmetlerinde büyük verilerin kümelenmesi (Purandhar, Ayyasamy, & Saravanakumar, 2020) konularının araştırıldığı sonucuna varılmıştır. Konular göz önünde bulundurulduğunda ayrıntıların ele alınmaya başlandığı görülmektedir. Bununla birlikte IoT fırsat olarak görülse de zorlukları yakın tarihli çalışmalarda incelenmeye başlanmıştır.

IoT alanında yapılan bibliometrik analizler incelendiğinde gıda güvenliğinde IoT (Bouzemrak, Klüche, Gavai, & Marvin, 2019), tıp alanında IoT (Sadoughi, Behmanesh, & Sayfour, 2020), Hindistan'daki mobil sağlık hizmetleri ve uygulamaları (Pai & Alathur, 2021), Endonezya'daki sağlık bilgi sistemlerinin araştırma durumu (Madjido, Espresso, Maula, Fuad, & Hasanbasri, 2019) gibi konularda bibliyometrik analizlerin yapıldığı görülmektedir. Yapılan çalışmalar alana büyük katkı sağlamakla beraber bu çalışmanın diğer çalışmalardan farkı sağlık hizmetlerinde IoT uygulamalarını bir bütün olarak ele alması ve konu hakkında genel durumun ortaya konulmaya çalışılmasıdır.

## 4. Sonuç

Sağlık hizmetlerinde IoT uygulamalarına ait araştırmalar oldukça güncel olmasına rağmen geniş ve disiplinlerarası bir alana dağılmış durumdadır. Alanın disiplinlerarası oluşu çok sayıda araştırma yapılmasına olanak sağlamaktadır özellikle 2014 yılı itibari ile araştırmaların sayısı ciddi bir biçimde yükseliş göstermektedir. Bu durum konu hakkında okuma yapmak isteyen araştırmacı ve karar vericilerin karşısında olumsuz bir durum yaratmaktadır. Çünkü okuma ve ön araştırma esnasında geniş bir bilgi yığını karşısında okuyucu kendisi için gerekli eserleri belirleyememekte bu durum zaman ve enerji verimsizliğine yol açmaktadır. Yapılan taramalar sonucunda alanın literatürünü genel itibari ile ve nesnel biçimde değerlendiren bir çalışmaya rastlanılamamıştır. Bu çalışma tam bu noktada okuyucuların konu hakkında araştırma yaparken başvurabilecekleri, bir kaynaktır. Alan hakkında okuma yapılırken takip edilmesi gereken yazarlar, ülkeler ve kaynaklar çalışmada detaylıca yer almaktadır. Akademik araştırmalarda bu çalışmanın dikkatlice incelenmesi ve sonrasında gerekli okumaların yapılması araştırmacıların zamanını tasarruflu kullanmalarını sağlayacaktır. Bununla birlikte sağlık sektöründe gerçekleştirilmesi planlanan yatırımlarda, sağlık teknolojilerinin değerlendirilmesinde, kritik öneme sahip kararların alınmasında ve politika oluşturulmasında yine çalışmanın incelenmesinde büyük fayda vardır. Çünkü bu durumlarda fon sağlama ve kaynak aktarma gibi durumlarda konu ile alakalı esas kurum ve kuruluşları belirleme sürecine katkı sağlanacaktır. Konu ile alakalı en çok makale yayınlayan dergi IEEE Access Dergisi'dir ve dergi en yüksek h ve g indeksine sahiptir. En yüksek m indeksine sahip dergi ise Future Generation Computer Systems-The International Journal of Escience Dergisi'dir. Bu dergilerde yayınlanan çalışmaların atıf sayısının yüksek olduğu görülmüştür. Fakat dergilerin makale sayılarının Bradford Yasası'na uygun şekilde dağılmadığı sonucuna ulaşılmıştır. 5 çekirdek dergide yayınlanan makaleler analizde yer alan tüm makalelerin %33,52'sini oluşturmaktadır. Konu ile en alakalı yazarın Sood SK olduğu görülmektedir ve yazarın alana katkı sağlayan 11 adet makalesi bulunmaktadır. Alandaki yazar dağılımı incelendiğinde dağılımın Lotka Yasası'na uymadığı görülmektedir. En üretken ülke sıralaması Çin, Amerika Birleşik Devletleri ve Hindistan şeklindedir. En çok alıntı yapılan doküman İslam SMR'nin 2015 yılında yazmış olduğu IEEE Access'te yayınlanan çalışmasıdır. Makalelerin özet kısımlarında data kelimesinin 1167 kez, anahtar kelimeler kısmında internet of things kelime grubunun 135 kez, kaynakça kısımlarında internet kelimesinin 157 kez ve başlık kısımlarında healthcare kelimesinin 236 kez kullanıldığı tespit edilmiştir. Anahtar kelimelerde en çok yer alan konu Internet of Things, başlıklarda healthcare, özetlerde data, keyword plus kısmında internettir. Ayrıca kelime analizine göre en az 10 kez kullanılan kelimeler 4 küme oluşturmaktadır. Kümelerdeki kelimelerin araştırma alanlarının incelenmesi, hareket sinyallerinin doğruluğu, protokol gizliliği, verimliliği ve güvenliği ile iletişim teknolojilerindeki gelişmeler başlıkları altında oluşum gösterdikleri görülmüştür.

Çalışmadaki en büyük sınırlılık veri tabanı olarak yalnızca Web of Science Core Collection veri tabanının kullanılmasıdır. Veri tabanından yalnızca İngilizce dilinde yazılan, makale ve review formatında olan çalışmalar indirilmiştir. Bununla birlikte veri tabanında yer alan ilk çalışmanın 2001 yılında yayınlandığı görülmüştür ve çalışmalar bu tarihten itibaren analiz edilmiştir. Bu tarihten öncesinde yayınlanan çalışma var ise analize dahil edilmemiştir. Benzer bir biçimde atıf analizlerinde yalnızca bu veri tabanında yer alan kayıtlar değerlendirilmiştir. Çalışmada

bibliyometrik analizden kaynaklanan sınırlılıklar da bulunmaktadır. Görselleştirme programı olan R 4.0.3 paket programının izin verdiği ölçüde veriler görselleştirilmiş olup programın hata verdiği analizlerden çıktı alınmamıştır. Ayrıca bu çalışmaya özgü olarak paket programın isim ve soyisim benzerliği olan üç yazarı aynı yazarmış gibi kodlayarak analizlere tabi tuttuğu gözlemlenmiştir. Bu durumun yazarlara ait bazı analizlerde hatalı sonuçlar alınmasına sebep olduğu görülmüştür. Söz konusu bu kısıtlama bu çalışmaya özgü olsa da her çalışmada ortaya çıkabilecek bir durum olduğu göz önünde bulundurulmalıdır.

## Kaynakça

- Abawajy, J. H., & Hassan, M. M. (2017). Federated Internet of Things and cloud computing pervasive patient health monitoring system. *IEEE Communications Magazine*, 55(1), 48–53.
- [Akhbarifar, S., Javadi, H. H. S., Rahmani, A. M., & Hosseinzadeh, M. \(2020\). A secure remote health monitoring model for early disease diagnosis in cloud-based IoT environment. \*Personal and Ubiquitous Computing\*, 1–17. <https://doi.org/10.1007/s00779-020-01475-3>](#)
- [Al-Fuqaha, A., Guizani, M., Mohammadi, M., Aledhari, M., & Ayyash, M. \(2015\). Internet of Things: A survey on enabling technologies, protocols and applications. \*IEEE Communications Surveys And Tutorials\*, 17\(4\), 2347–2376.](#)
- [Albahri, O. S., Albahri, A. S., Zaidan, A. A., Zaidan, B. B., Alsalem, M. A., Mohsin, A. H., ... & Shareef, A. H. \(2019\). Fault-tolerant mHealth framework in the context of IoT-based real-time wearable health data sensors. \*IEEE Access\*, 7, 50052–50080.](#)
- [Alhasan, A., Audah, L., Ibrahim, I., Al-Sharaa, A., Al-Ogaili, A. S., & Mohammed, J. M. \(2020\). A case-study to examine doctors' intentions to use IoT healthcare devices in Iraq during COVID-19 pandemic. \*International Journal of Pervasive Computing and Communications\*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1108/IJPC-10-2020-0175>](#)
- [Alhussein, M., Muhammad, G., Hossain, M. S., & Amin, S. U. \(2018\). Cognitive IoT-Cloud integration for smart healthcare: Case study for epileptic seizure detection and monitoring. \*Mobile Networks and Applications volume, 23\*, 1624–1635.](#)
- [Amendola, S., Lodato, R., Manzari, S., Occhiuzzi, C., & Marrocco, G. \(2014\). RFID technology for IOT-based personel healthcare in smart spaces. \*IEEE Internet of Things Journal\*, 1\(2\), 144–152.](#)
- [Amin, S. U., Hossain, M. S., Muhammed, G., Alhussein, M., & Rahman, M. A. \(2019\). Cognitive smart healthcare for pathology detection and monitoring. \*IEEE Access\*, 7, 10745–10753. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2891390>](#)
- [Aria M, Cuccurullo C. \(2017\), bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. \*Journal of informetrics\*:11\(4\):959-75](#)
- [Asghari, P., Rahmani, A. M., & Javadi, H. H. S. \(2019\). Internet Of Things application: A systematic review. \*Computer Networks\*, 148, 241–261.](#)
- [Baker, S. B., Xiang, W., & Atkinson, I. \(2017\). Internet of Things for smart healthcare: Technologies, challenges and opportunities. \*IEEE Access\*, 5, 26521–26544.](#)
- [Bankar, R. S. \(2019\). HistCite tutorial. <http://eprints.rclis.org/41954/1/Document1.pdf>.](#)
- [Barata, J. J. R., Munoz, R., De Carvalho Silva, R. D., Rodrigues, J., & Albuquerque, V. H. \(2019\). Internet of Things based on](#)

- electronic and mobile health systems for blood glucose continuous monitoring and management. *IEEE Access*, 7, 175116–175125. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2956745>
- Bastian, M., Heymann, S., ve Jacomy, M. (2009, March). Gephi: an open source software for exploring and manipulating networks. In Third international AAAI conference on weblogs and social media.
- Bhatt, Y., & Bhatt, C. (2017). Internet of Things in HealthCare. *Çinde Internet of Things and Big Data Technologies for Next Generation Healthcare* (ss. 13–33). Cham, Switzerland: Springer International Publishing AG.
- Bornmann, L., & Daniel, H. D. (2007). What do we know about the h index? *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 58(9), 1381–1385.
- Bouzembrak, Y., Klüche, M., Gavai, A., & Marvin, H. J. P. (2019). Internet of Things in food safety: Literature review and a bibliometric analysis. *Trends in Food Science & Technology*, 94, 54–64.
- Castillejo, P., Martinez, J.-F., Rodriguez Molina, J., & Cuerva, A. (2013). Integration of wearable devices in a wireless sensor network for an e-health application. *IEEE Wireless Communications*, 20(4). <https://doi.org/10.1109/MWC.2013.6590049>
- Catarinucci, L., De Donno, D., Mainetti, L., Palano, L., Patrono, L., Stefanizzi, M. L., & Tarricone, L. (2015). An IoT-Aware architecture for smart healthcare systems. *IEEE Internet of Things Journal*, 2(6), 515–526. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2015.2417684>
- Chen, C. (2014). The citespace manual. College of Computing and Informatics, 1, 1-84
- Chen, M., Ma, Y., Li, Y., Wu, D., Zhang, Y., & Youn, C. H. (2017). Wearable 2.0: Enabling human-cloud integration in next generation healthcare systems. *IEEE Communications Magazine*, 55(1), 54–61. <https://doi.org/10.1109/MCOM.2017.1600410CM>
- Cobo, M. J., López-Herrera, A. G., Herrera-Viedma, E., & Herrera, F. (2012). SciMAT: A new science mapping analysis software tool. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 63(8), 1609-1630.
- Dadkhah, M., Lagzian, M., Rahimnia, F., & Kimiafar, K. (2020). What do publications say about the Internet of Things challenges/barriers to unformed authors? A bibliometric analysis. *JLIS.it*, 11(3), 77–98. <https://doi.org/10.4403/jlis.it-12634>
- Darwish, A., Hassanien, A. E., Elhoseny, M., Sangaiah, A. K., & Muhammmad, K. (2019). The impact of the hybrid platform of internet of things and cloud computing on healthcare systems: opportunities, challenges, and open problems. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 10, 4151–4166. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s12652-017-0659-1>
- Dimitrov, D. (2016). Medical Internet of Things and Big Data in Healthcare. *Healthcare Informatics Research*, 22(3), 156–163.
- Egghe, L. (2006). Theory and practise of the g-index. *Scientometrics*, 69(1), 131–152.
- Elhoseny, M., Abdelaziz, A., Salama, A. S., Riad, A. M., Muhammad, K., & Sangaiah, A. K. (2018). A hybrid model of Internet of Things and cloud computing to manage big data in health services applications. *Future Generation Computer Systems*, 86, 1383–1394. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.future.2018.03.005>
- European Environment Agency. (2020). R Core Team (2020). Tarihinde 06 Aralık 2020, adresinden erişildi <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/oxygen-consuming-substances-in-rivers/r-development-core-team-2006>
- Griggs, K. N., Ossipova, O., Kohlios, C. P., Baccarini, A. N., Howson, E. A., & Thayer, H. (2018). Healthcare blockchain system using smart contracts for secure automated remote patient monitoring. *Journal of Medical Systems*, 42, 130. <https://doi.org/10.1007/s10916-018-0982-x>.
- Harzing, A. W. (2012). Reflections on the h-index. *Business&Leadership*, 1(9), 101–106.
- Hirsch, J. E. (2007). Does the h index have predictive power? *PNAS*, 104(49), 19193–19198.
- Hossain, M. S., & Muhammad, G. (2016). Cloud-assisted Industrial Internet of Things (IIoT) - Enabled framework for health monitoring. *Computer Networks*, 101, 192–202. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.comnet.2016.01.009>
- Hossain, M. S., & Muhammad, G. (2017). Emotion-aware connected healthcare big data towards 5G. *IEEE Internet of Things Journal*, 5(4), 2399–2406. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2017.2772959>
- IEEE Access. (2020). Learn More About IEEE Access. Tarihinde 22 Kasım 2020, adresinden erişildi <https://ieeaccess.ieee.org/about-ieee-access/learn-more-about-ieee-access/>
- Islam, S. M. R., Kwak, D., Kabir, M. H., Hossain, M., & Kwak, K.-S. (2015). The Internet of Things for health care: A comprehensive survey. *IEEE Access*, 3, 678–708. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2015.2437951>
- Kaba, A., & Ramaiah, C. K. (2019). Bibliometric Analysis of Research Output on the Internet of Things in the Arab World. *DESIDOC Journal of Library & Information Technology*, 39(5).
- Kelly, J. T., Campbell, K. L., & Scuffham, P. (2020). The Internet of Things: Impact and implications for health care delivery. *Journal of Medical Internet Research*, 22(11). <https://doi.org/10.2196/20135>
- Konstantinidis, S., Billis, A., Wharrad, H., & Bamidis, P. D. (2017). Internet of Things in Health Trends Through Bibliometrics and Text Mining. In *Informatics for Health: Connected Citizen-Led Wellness and Population Health*. , (73-77). <https://doi.org/10.3233/978-1-61499-753-5-73>
- Kumar Dwivedi, R., Kumar, R., & Buyya, R. (2021). Gaussian Distribution-based machine learning for anomaly detection in healthcare sensor cloud. *International Journal of Cloud Applications and Computing (IJCAC)*, 11(1), 52–72.
- Kumar, P., Kumari, S., Sangaiah, A. K., Wei, J., & Li, X. (2018). A certificateless aggregate signature scheme for healthcare wireless sensor network. *Sustainable Computing: Informatics and Systems*, 18, 80–89. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.suscom.2017.09.002>
- Kumar, P. M., Lokesh, S., Varatharajan, R., Babu, G. C., & Parthasarathy, P. (2018). Cloud and IoT based disease prediction and diagnosis system for healthcare using Fuzzy neural classifier. *Future Generation Computer Systems*, 86(527–534). <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.future.2018.04.036>
- Kurutkan, M. N., ve Orhan, F. (2018a). Kalite Prensiplerinin Görsel Haritalama Tekniğine Göre Bibliyometrik Analizi. *SAGE Yayıncılık San. Tic. ve Ltd. Şti.* 1, 7-14.
- Kurutkan, M. N., ve Orhan, F. (2018b). Sağlık Politikası



- [Konusunun Bilim Haritalama Teknikleri ile Analizi. İKSAD Publications, 1-12.](#)
- [Leong, Y. R., Tajudeen, F. P., & Yeong, W. C. \(2021\). Bibliometric and content analysis of the internet of things research: a social science perspective. \*Online Information Review\*.](#)
- [Li, G., Xu, G., Sangaiah, A. K., Wu, J., & Li, J. \(2019\). EdgeLaaS: Edge Learning as a Service for Knowledge-Centric Connected Healthcare. \*IEEE\*, 33\(6\), 37–43. <https://doi.org/10.1109/MNET.001.1900019>](#)
- [Li, X., Pak, C., & Bi, K. \(2020\). Analysis of the development trends and innovation characteristics of Internet of Things technology-based on patentometrics and bibliometrics. \*Technology Analysis & Strategic Management\*, 32\(1\), 104–118.](#)
- [Lotka, A. J. \(1926\). The frequency distribution of scientific productivity. \*Journal of the Washington Academy of Sciences\*, 16\(12\), 317–323.](#)
- [MA, Y., Wang, Y., Yang, J., Miao, Y., & Li, W. \(2016\). Big Health Application System based on Health Internet of Things and Big Data. \*IEEE Access\*, 5, 7885–7897. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2016.2638449>](#)
- [Madjido, M., Espresso, A., Maula, A. W., Fuad, A., & Hasanbasri, M. \(2019\). Health information system research situation in Indonesia: A bibliometric analysis. \*Procedia Computer Science\*, 161, 781–787. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.11.183>](#)
- [Mahmoud, M. M. E., Rodrigues, J., Ahmed, S. H., Shah, S. C., Al Muhtadi, J., Korotaev, V., & Albuquerque, V. H. \(2018\). Enabling technologies on Cloud of Things for Smart Healthcare. \*IEEE Access\*, 6, 31950–31967. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2845399>](#)
- [Mahmoud, M. M. E., Rodrigues, J., Saleem, K., Al Muhtadi, J., & Korotaev, V. \(2018\). Towards energy-aware fog-enabled cloud of things for healthcare. \*Computers and Electrical Engineering\*, 67, 58–69.](#)
- [Mano, L. Y., Façal, B. S., Nakamura, L. H. V., Gomes, P. H., Libralon, G. L., Meneguete, R. I., ... Ueyama, J. \(2016\). Exploiting IoT technologies for enhancing Health Smart Homes through patient identification and emotion recognition. \*Computer Communications\*, 89\(90\), 178–190. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.comcom.2016.03.010>](#)
- [Manyika, J., Michael, C., Bughin, J., Dobbs, R., Bisson, P., & Marrs, A. \(2013\). \*Disruptive technologies: Advances that will transform life, business, and the global economy\*. San Francisco, CA, USA.](#)
- [MDPI. \(2020\). Sensors. Tarihinde 22 Kasım 2020, adresinden erişildi <https://www.mdpi.com/journal/sensors>](#)
- [Mishra, D., Gunasekaran, A., Childe, S. J., Papadopoulos, T., Dubey, R., & Wamba, S. \(2016\). Vision, applications and future challenges of Internet of Things: A bibliometric study of the recent literature. \*Industrial Management & Data Systems\*.](#)
- [Miskiewicz, R. Internet of Things in Marketing Bibliometric Analysis \(2020\). \*Marketing and Management Of Innovations\*. 2020, 3, 371–381.](#)
- [Nepal, S., Ranjan, R., & Choo, K.-K. R. \(2015\). Trustworthy processing of healthcare big data in hybrid clouds. \*IEEE Cloud Computing\*, 2\(2\), 78–84. <https://doi.org/10.1109/MCC.2015.36>](#)
- [Ngayua, E. N., He, J., & Boahene, K. A. \(2020\). Applying advanced technologies to improve clinical trials: a systematic mapping study. \*Scientometrics\*, 21, 1–22. <https://doi.org/10.1007/s11192-020-03774-1>](#)
- [Nobre, G. C., & Tavares, E. \(2017\). Scientific literature analysis on big data and internet of things applications on circular economy: a bibliometric study. \*Scientometrics\*, 111\(1\), 463–492.](#)
- [Pai, R. R., & Alathur, S. \(2021\). Bibliometric Analysis and Methodological Review of Mobile Health Services and Applications in India. \*International Journal of Medical Informatics\*, 145, 104330. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijmedinf.2020.104330>](#)
- [Pang, Z., Zheng, L., Tian, J., Kao-Walter, S., Dubrova, E., & Chen, Q. \(2015\). Design of a terminal solution for integration of in-home health care devices and services towards the Internet-of-Things. \*Enterprise Information Systems\*, 9\(1\), 86–116.](#)
- [Pernitez-Agan, S., Bautistia, M. A., Lopez, J., Sampson, M., & Wickramage, K. \(2020\). Bibliometric analysis of Covid-19 in the context migration health: A study protocol. \*medRxiv\*, 1–10. <https://doi.org/https://doi.org/10.1101/2020.07.09.20149401>](#)
- [Persson, O., Danell, R., ve Schneider, J. W. \(2009\). How to use Bibexcel for various types of bibliometric analysis. \*Celebrating scholarly communication studies: A Festschrift for Olle Persson at his 60th Birthday\*, 5, 9-24.](#)
- [Potter, W. . \(1988\). Of making many books there is no end': bibliometrics and libraries. \*Journal of Academic Librarianship\*, 14\(4\), 238a-9c.](#)
- [Prajapati, V. \(2013\). \*Big Data Analytics with R and Hadoop\*. UK: Packt Publishing.](#)
- [Princi, E., & Kramer, N. \(2020\). Out of control-privacy calculus and the effect of perceived control and moral considerations on the usage of IoT healthcare devices. \*Frontiers in Psychology\*, 11. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.582054>](#)
- [Purandhar, N., Ayyasamy, S., & Saravanakumar, N. . \(2020\). Clustering healthcare big data using advanced and enhanced fuzzy C-means algorithm. \*International Journal of Communication Systems\*, 34\(1\). <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/dac.4629>](#)
- [Qi, J., Yang, P., Waraich, A., Deng, Z., Zhao, Y., & Yang, Y. \(2018\). Examining sensor-based physical activity recognition and monitoring for healthcare using Internet of Things: A systematic review. \*Journal of Biomedical Informatics\*, 87, 138–153. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jbi.2018.09.002>](#)
- [Rahmani, A. M., Gia, T. N., Negash, B., Anzanpour, A., Azimi, I., Jiang, M., & Liljeberg, P. \(2018\). Exploiting smart e-Health gateways at the edge of healthcare Internet-of-Things: A fog computing approach. \*Future Generation Computer Systems-The International Journal of Escience\*, 78\(2\), 641–658.](#)
- [Rawashdeh, M., Mohammed, G. A. Z., Hossain, M. S., Samarah, S., Amin, S. U., & Muhammad, G. \(2018\). Reliable service delivery in Tele-health care systems. \*Journal of Network and Computer Applications\*, 115. <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2018.04.015>](#)
- [Rodrigues, JJPC Segundo, D., Junqueira, H., Sabino, M., Prince, R., Al-Muhtadi, J., & Albuquerque, D. \(2018\). Enabling Technologies for the Internet of Health Things. \*IEEE Access\*, 6, 13129–131141. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2017.2789329>](#)
- [Rodríguez-Soler, R., Uribe-Toril, J., & Valencio, J. D. P. \(2020\). Worldwide trends in the scientific production on rural depopulation, a bibliometric analysis using bibliometrix R-](#)

- tool. *Land Use Policy*, 97, 104787.
- Roehrs, A., da Costa, C. A., Righi, R. da R., & Farias de Oliveira, K. S. (2017). Personal health records: A systematic literature review. *Journal of Medical Internet Research*, 19(1). <https://doi.org/10.2196/jmir.5876>
- Rowlands, I. (2004). Emerald authorship data, Lotka's law and research productivity. *Emerald Insight*, 57(1), 5–10.
- Sadoughi, F., Behmanesh, A., & Sayfour, N. (2020). Internet of things in medicine: A systematic mapping study. *Journal of Biomedical Informatics*, 103, 103383. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jbi.2020.103383>
- Santos, J., Rodrigues, J., Silva, B. M., Casal, J., Saleem, K., & Denisov, V. (2016a). An IoT-based mobile gateway for intelligent personal assistants on mobile health environments. *Journal of Network and Computer Applications*. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.jnca.2016.03.014>
- Santos, J., Rodrigues, J., Silva, B. M., Casal, J., Saleem, K., & Denisov, V. (2016b). An IoT-based mobile gateway for intelligent personal assistants on mobile health environments. *Journal of Network and Computer Applications*, 71. <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2016.03.014>
- Shang, G., Saladin, B., Fry, T., & Donohue, J. (2015). Twenty-six years of operations management research (1985–2010): authorship patterns and research constituents in eleven top rated journals. *International Journal of Production Research*, 53(20), 6161–6197.
- Sodhro, A. H., Pirbhulal, S., & Sangaiah, A. K. (2018). Convergence of IoT and product lifecycle management in medical health care. *Future Generation Computer Systems*, 86, 380–391. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.future.2018.03.052>
- Suciu, G., Martian, A., Craciunescu, R., Vulpe, A., Marcu, I., Halunga, S., & Fratu, O. (2015). Big data, Internet of Things and Cloud Convergence-An architecture for secure e-health applications. *Journal of Medical Systems*, 39(11), 327. <https://doi.org/10.1007/s10916-015-0327-y>
- Talal, M., Zaidan, A., Zaidan, B., Albahri, A., Alamoodi, A., Albahri, O., ... Mohammed, K. (2019). Smart Home-based IoT for real-time and secure remote health monitoring of triage and priority system using body sensors: Multi-driven systematic review. *Journal of Medical Systems*, 43(42), 1–34. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s10916-019-1158-z>
- The R Foundation. (2020). What is R? Tarihiinde 06 Aralık 2020, adresinden erişildi <https://www.r-project.org/about.html>
- Tian, S., Yang, W., Grange, J. M. Le, Wang, P., Huang, W., & Ye, Z. (2019). Smart healthcare: making medical care more intelligent. *Global Health Journal*, 3(3), 62–65. <https://doi.org/10.1016/j.glohj.2019.07.001>
- Tsai, J. C., Leu, J.-S., Prakosa, S. W., Hsiao, L.-C., Huang, P.-C., Yang, S.-Y., & Huang, Y.-T. (2020). Design and implementation of an Internet of Healthcare Things System for respiratory diseases. *Wireless Personal Communications*, 1–14. <https://doi.org/10.1007/s11277-020-07871-5>
- Uslu, Çaliş, B., Okay, E., & Dursun, E. (2020). Analysis of factors affecting IoT-based smart hospital design. *J Cloud Comp*, 9(1). <https://doi.org/10.1186/s13677-020-00215-5>
- Van Eck, N. J., ve Waltman, L. (2013). VOSviewer manual. Leiden: Univeriteit Leiden, 1(1), 1-53
- Vilela, P. H., Rodrigues, J., Solic, P., Saleem, K., & Furtado, V. (2019). Performance evaluation of a fog-assisted IoT solution for e-Health applications. *Future Generation Computer Systems*, 97, 379–386.
- Wu, F., Li, X., Sangaiah, A. K., Xu, L., Kumari, S., Wu, L., & Shen, J. (2018). A lightweight and robust two-factor authentication scheme for personalized healthcare systems using wireless medical sensor networks. *Future Generation Computer Systems*, 82, 727–737. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.future.2017.08.042>
- Xiang, G. Y., Zeng, Z., & Shen, Y. J. (2016). Present Situation and Development Trend of China's Intelligent Medical Construction. *Chinese General Practice*, 19(24), 2998–3000. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1007-9572.2016.24.027>
- Xie, C., Cai, H., Yang, Y., Jiang, L., & Yang, P. (2018). User profiling in elderly healthcare services in China: Scalper Detection. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, 22(6), 1796–1806. <https://doi.org/10.1109/JBHI.2018.2852495>
- Yang, P., Qi, J., Min, G., & Xu, L. (2017). Advanced Internet of Things for personalised healthcare system: A survey. *Pervasive and Mobile Computing*, 41, 132–149.
- Yang, P., Stankevicius, D., Marozas, V., Deng, Z., Liu, E., Lukosevicius, A., ... Min, G. (2018). Lifelogging data validation model for Internet of Things enabled personalized healthcare. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, 48(1), 50–64.
- Yang, Yang, Zheng, X., Guo, W., Liu, X., & Chang, V. (2019). Privacy-preserving smart IoT-based healthcare big data storage and self-adaptive access control system. *Information Sciences*, 479, 567–592.
- Yang, Yun, Nan, F., Yang, P., Meng, Q., Xie, Y., Zhang, D., & Muhammad, K. (2019). GAN-Based Semi- Supervised learning approach for clinical decision support in health-IoT platform. *IEEE Access*, 7, 8048–8057. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2888816>
- Yin, Y., Zeng, Y., Chen, X., & Fan, Y. (2016). The internet of things in healthcare: An overview. *Journal of Industrial Information Integration*, 1, 3–13.
- Zhang, D., Xia, X., Yang, Y., Yang, P., Xie, C., Cui, M., & Liu, Q. (2021). A novel word similarity measure method for IoT-enabled healthcare applications. *Future Generation Computer Systems*, 114, 209–218. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.future.2020.07.053>
- Zupic, I., & Cater, T. (2014). Bibliometric methods in management and organization. *Organizational Research Methods*, 18(3), 429–472.



# The Effect of Mobile Phone Use of Universty Students on Their Academic Success

Hüseyin Eriş<sup>1\*</sup>, Suzan Havlioğlu<sup>2</sup>, Miyaser Kaya<sup>3</sup>

<sup>1\*</sup> Harran University, Vocational High School of Healthcare Service, Şanlıurfa, Turkey,(Orcid: 0000-0002-1685-9819)erisharran@hotmail.com

<sup>2</sup> Harran University, Vocational High School of Healthcare Service, Şanlıurfa, Turkey,(Orcid:0000-0001-5593-5688)suzanhavlioglu@hotmail.com

<sup>3</sup> Harran University, Vocational High School of Healthcare Service, Şanlıurfa, Turkey,(Orcid: 0000-0002-4126-0488) mkaya@harran.edu.tr

(First received 25 May 2021 and in final form 20 September 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.942753)

**ATIF/REFERENCE:** Eriş. H., Havlioğlu. S., Kaya. M. (2021). The Effect of Mobile Phone Use of Universty Students on Their Academic Success. *European Journal of Science and Technology*, (27), 433-438.

## Abstract

The aim of this study is to determine the mobile phone use level of university students and the effect of their mobile phone use on their academic success. The study was carried out between February-March 2020 as a descriptive study in Vocational High School of Healthcare Service. The population of study consists of 2400 students that study in Vocational High School of Healthcare Service, the sample of it consists of 335 students that wanted to participate in the study. An information form and Problematic Mobile Phone Use Scale for University Students, created by reviewing literature, were used to collect data. Students averagely use mobile phones for  $4.5 \pm 1.54$  hours and social media for  $2.3 \pm 0.79$  hours daily. Students use their phones at the rate of 32.5% for internet and 23% of them regard spending time on mobile phone as a waste of time. According to problematic mobile phone use scale, the means of students is 62.27, their mean is 23.50 at the deprivation sub-dimension, 13.58 at the adverse outcomes sub-dimension, 16.08 at the control problem sub-dimension and 9.08 at the interaction avoidance sub-dimension. The problematic mobile phone use scale means of students, whose academic success are above the average, was found as lower, the problematic mobile phone use scale means of students, who spend time on their phone more than 6 hours daily, was found as higher.

**Key Words:** University Students, Mobile Phone, Academic Success

## Üniversite Öğrencilerinin Cep Telefonu Kullanımlarının Akademik Başarılarına Etkisi

### Öz

Bu çalışmanın amacı üniversite öğrencilerin cep telefonu kullanım düzeyleri ile cep telefonu kullanımlarının akademik başarıları üzerine etkisinin belirlenmesidir. Çalışma Şubat-Mart 2020 tarihleri arasında Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulunda tanımlayıcı tipte bir araştırma olarak yürütülmüştür. Çalışmanın evrenini Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulunda öğrenim gören 2400 öğrenci, örneklemini ise çalışmaya katılmayı kabul eden 335 öğrenci oluşturmaktadır. Verilerin toplanmasında literatür taranarak oluşturulan bilgi formu ve Üniversite Öğrencileri için Problemlerli Cep Telefonu Kullanım Ölçeği kullanılmıştır. Öğrenciler günde ortalama  $4.5 \pm 1.54$  saat cep telefonu ve  $2.3 \pm 0.79$  saat sosyal medya kullanıyorlar. Öğrenciler cep telefonunu % 32.5 internetten yararlanmak için kullanıyor ve % 23 cep telefonunda vakit geçirmeyi zaman kaybı olarak değerlendiriyor. Problemlerli cep telefonu kullanım ölçeğine göre öğrencilerin ortalama puanları 62.27, yoksunluk alt boyutunda 23.50, olumsuz sonuçlar alt boyutunda 13.58, kontrol problemi alt boyutunda 16.08 ve etkileşimden kaçınma alt boyutunda 9.08'dir. Akademik başarıları ortalamanın üzerinde olan öğrencilerin problemlerli cep telefonu kullanım ölçeği puan ortalamaları daha düşük, günde 6 saatten fazla cep telefonu ile vakit geçirenlerin, problemlerli cep telefonu kullanım ölçeği puan ortalamaları daha yüksek bulunmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Üniversite Öğrencileri, Cep Telefonu, Akademik Başarı

\* Corresponding Author: [erisharran@hotmail.com](mailto:erisharran@hotmail.com)

## 1. Introduction

Today, with the rapid development of communication technologies and the internet, their reflections on social, cultural, and economic life have begun to be felt visibly. Especially at the beginning of 2000s, access to information, share of information, even types of creating information and interpersonal communication types have reshaped and changed due to the remarkable development of internet and mobile phone technologies, depending on the internet (Aydın, 2016). Also, internet use has become an indispensable part of life because it eases people's lives and gives them the advantage to save the time. Because of the internet, people do their several daily routines with the least physical power and cost in a short time. This network, which develops and changes day by day, has become indispensable for many people (Çiftçi, 2018).

Especially young people and university students have begun to use frequently internet and social media, mass media with easy and quick access, for academic or other purposes day by day. These tools have become not only a good source of information but also a source of other purposes such as social interactions, play, fun etc. (Diker and Taşdelen, 2017).

Approximately 66.8% of people in Turkey use the internet. The number of mobile phone subscriptions reached 77.8 million people in Turkey in 2017 (Ataş and Çelik, 2019). According to the report which was published with the name of "Digital 2019 in Turkey" - the statistics of internet and social media - prepared by We are Social and Hootsuite every year, there are 59.36 million internet users, 72% of the total population, 52 million active social media users, 63% of the total population, 44 million active mobile social media users, 53% of the total population. While 98% of adults use mobile phone; 77% of them have a smart phone. People spend approximately 7 hours on the internet in a day. On the other hand, they spend approximately 2 hours and 46 minutes on social media, 3 hours and 9 minutes on television in a day (Datareportal, 2019).

In the report, which is stated that there are 52 million social media users in total, it is pointed out that 44 million of them connect to social media via mobile devices. When the statistics of mobile users analysed, it is seen that the number is 76.3 million people which equals to 93% of population in Turkey. In addition, it is claimed in the report that mobile applications have been downloaded 2.8 billion times in total over the past year (Bal and Balcı, 2020).

The rapid increase in the use of mobile phone, which was previously thought to be as harmless or less harmful and became "smart" with the developing technology, has brought negative outcomes, especially leading to an addiction. Mobile phones which people initially get to communicate, have become an uncontrollable power with its expanding features, and in conclusion; addiction risk has arisen and this has led to dangerous behaviours. Today, an important part of smart phone users has reached a "milestone" in which they cannot control negative outcomes because of the excess use of this tool (Bal and Balcı, 2020).

In general, addiction can be defined as trying harder for certain behaviour, continuing the delightful behaviour by drifting apart from the real world, developing tolerance with the repetitive behaviours, having difficult to control behaviours and symptoms like uneasiness, which arises with the hindering of the repetition of behaviour (Noyan et al., 2015). In this regard, internet

addiction can be defined as the excess use of the internet; the signs of anger, nervousness, and tense when internet is not available; more use, namely tolerance, with the search for better equipment like better computers, tablets and phones, which have better software, quicker access; and as a result of them, underachievement, social isolation, telling lies and discussions (Chakraborty, Basu and Kumar, 2010). According to the behaviourist approach, if satisfaction is achieved as a result of behaviour or a negative situation can be overcome with behaviour, individuals can prefer this behaviour to achieve satisfaction or overcome the negative situation in future. Hence, smart phones are also addictive elements with this feature (Kuyucu, 2017).

## 2. Material and Method

### 2.1. The Aim of the Study

The aim of this study is to determine the mobile phone use level of university students and the effect of their mobile phone use on their academic success.

### 2.2. The Population and Sample of Study

The study was carried out between February-March 2020 as a descriptive study in Vocational High School of Healthcare Service. The population of study consists of 2400 students that study in Vocational High School of Healthcare Service. According to the simple random sampling method, 335 students constitute of the sample of study.

### 2.3. Data Collection Tools

Information form and Problematic Mobile Phone Use Scale for University Students, created by reviewing literature, were used to collect data.

### 2.4. Problematic Mobile Phone Use Scale

It was developed by Pamuk and Atlı in 2016 and designed to determine the status of problematic mobile phone use (MMPUS) of university students. MMPUS consists of 26 items and four sub-dimensions. 5-Likert scale was used to collect data in the study.

The means of sub-dimensions of MMPUS are as: Deprivation sub-dimension: 1-8, Adverse Outcomes sub-dimension: 9-15, Control Problem sub-Dimension: 16-21, Interaction Avoidance sub-Dimension: 22-26. Every item gets a point from 1 to 5, and as the points increase, problematic mobile phone use levels of students increase (Pamuk and Atlı, 2016).

Question form was applied under observation after students were informed. Data analyses were made with SPSS 20 programme. For data analysis, descriptive statistics (number, frequency, mean) were used, and for analysing the differences between groups, independent simple t-test and independent variance analysis (ANOVA) were used, and Kruskal Wallis test and correlation analysis for inapplicable values were used.

Before the study, the approval was gotten from Harran University, Social and Human Sciences Ethical Committee (08.0412020/1), Harran University, Vocational High School of Healthcare Service and participants.

## 3. Findings

Findings obtained were given in this chapter of the study. Descriptive information regarding the participant students are shown in Table 1.

Table 1. The Distribution of Descriptive Features of Students (N=335)

Variable		Number	Percentage
Sex	Male	76	22.7
	Female	259	77.3
Age (20.28±1.69)	18-21	286	85.4
	22-34	49	14.6
Income	Income is lower than expense	123	36.7
	Income and expense are equal	192	57.3
	Income is higher than expense	20	6.0
Employment Status	Yes	49	14.6
	No	286	85.4
Academic Success	Below Average	23	6.9
	Average	179	53.4
	Above Average	125	37.3
	Far Above Average	8	2.4
How long have you been using mobile phone?	1-5	181	54.0
	6-16	154	46.0
How much time do you spend on your mobile phone in a day? (4.5 ±1.54)	0-1	21	6.3
	2-3	111	33.1
	4-6	140	41.8
	More than 7 hours	63	18.8
Social Media Use	Yes	267	79.7
	No	68	20.3
How much time do you spend on social media in a day? (2.3±0.79)	0-1	42	12.5
	2-3 Hours	173	51.6
	4-5 Hours	93	27.8
	More than 6 hours	27	8.1
Which complaints do you have depending on mobile phone use?	Burning Eyes	42	12.5
	Insomnia	42	12.5
	Uneasiness	22	6.6
	Forgetfulness	42	12.5
	Headache	43	12.8
	Tiredness	16	4.8
	Waste of Time	77	23.0
	Other	51	15.2
Which purposes do you use mobile phone?	Communication	70	20.9
	Message	90	26.9
	Playing	22	6.6
	Internet	109	32.5
	Social Media	44	13.2

Socio-demographic data of participant students are shown in Table 1. 77.3% of them are female and the average of age is 20.28±1.69. Students use mobile phone for averagely 4.5 ±1.54

hours and social media for 2.3±0.79 hours daily. Students use their phones at the rate of 32.5% for internet and 23% of them regard spending time on mobile phone as waste of time.

Table 2. The Means of Problematic Mobile Phone Use Scale

Scale	Mean	SS	Min.	Max.
<b>Problematic Mobile Phone Use Scale</b>	62.27	22.14	26	130
Deprivation	23.50	9.46	8	40
Adverse Outcomes	13.58	6.39	7	35
Control Problem	16.08	6.41	6	30
Interaction Avoidance	9.08	4.71	5	25

Problematic mobile phone use scale means of participant students are shown in Table 2. According to problematic mobile phone use scale, the mean of students is 62.27 in general, 23.50 at

the deprivation sub-dimension, 13.58 at the adverse outcomes sub-dimension, 16.08 at the control problem sub-dimension and 9.08 at the interaction avoidance sub-dimension.

*Table 3. MMPUS Means of Student and Comparison of Some Variables*

VARIABLE		Problematic Mobile Phone Use Scale			Significance
		MEAN	SD		
Sex	Male	64.17	27.34	T=.84	p=.39
	Female	61.72	20.37		
Age	18-21	62.04	21.57	T=-.47	p=.63
	22-34	63.65	25.40		
Income	Income is lower than expense	62.19	22.53	F=.37	p=.68
	Income and expense are equal	62.75	21.79		
	Income is higher than expense	58.25	23.69		
Employment Status	Yes	60.34	23.11	T=-.66	p=.50
	No	62.61	21.99		
Academic Standing	Below Average	66.56	22.00	KW=9.81	<b>P=.02</b>
	Average	64.97	22.29		
	Above Average	58.39	21.67		
	Far Above Average	49.87	14.53		
How long have you been using mobile phone?	1-5	61.37	22.09	T=-.81	p=.41
	6-16	63.34	22.22		
How much time do you spend on your mobile phone in a day?	0-2	48.66	21.86	F=17.73	<b>p=.001</b>
	3-5	58.34	20.86		
	More than 6 hours	70.87	21.35		
Social Media Use	Yes	64.66	21.77	T=4.05	<b>p=.001</b>
	No	52.92	21.21		
How much time do you spend on social media in a day?	0-1	51.47	16.49	F=14.47	<b>p=.001</b>
	2-3 Hours	58.63	19.98		
	4-5 Hours	69.02	24.02		
	More than 6 hours	79.03	21.20		

Problematic mobile phone use scale means of participant students and comparison of some variables are shown in Table 3. The problematic mobile phone use scale mean of students, whose academic success is above the average, was found as lower, the

problematic mobile phone use scale mean of students, who spend time on their phone more than 6 hours daily, use social media and spend time on social media more than 6 hours in a day, was found as higher ( $p < .05$ ).

*Table 4. The Means of Problematic Mobile Phone Use Scale, Academic Success of Students and Correlation Outcomes*

	Academic Success	MMPUS	Deprivation	Adverse Outcomes	Control Problem	Interaction Avoidance
Academic Success	1					
MMPUS	-.164 .003	1				
Deprivation	-.137 .012	.849 .000	1			
Adverse Outcomes	-.126 .021	.820 .000	.496 .000	1		
Control Problem	-.189 .001	.860 .000	.674 .000	.622 .000	1	
Interaction Avoidance	-.072 .192	.704 .000	.387 .000	.648 .000	.477 .000	1

The means of problematic mobile phone use scale, academic success of students and correlation outcomes are shown in Table 4. As seen in the table, a statistically significant low negative relationship at  $p < .05$  level was found between points as a result of Pearson's Product-Moment Correlation analysis, made to

determine the relationship between the points of problematic mobile phone use scale of students and their academic success.

## 4. Results and Discussion

This study was carried out to determine whether mobile phone use of university students has an effect on their academic success. In this study, the mean of students was found as high (62.27) according to problematic mobile phone use. A similar study was carried out by Talan, Korkmaz and Gezer (2016) and the total mean of problematic mobile phone use scale of students was found as high.

In this study, ANOVA and Kruskal Wallis test were used for the comparison of MMPUS means of students according to some socio-demographic features of students. As a result of the analysis, a statistically significant difference was not found in terms of sex, age, income, and employment status of students. There are studies that obtain similar results in the literature review. In the study, carried out by Kuyucu (2017) to determine the smart phone addiction level of university students, it was found out that there was not a statistically significant difference between groups in terms of sex and age variables of students. In the study, carried out by Talan et al. (2016) on the assessment of mobile phone addiction level of university students, it was found out that there was not a significant relationship between groups in terms of mobile phone addiction level of students according to sex, studying faculty, socio-economic status and the year they have mobile phone.

In the literature, there is a study in which it was found that there is a significant difference between groups in terms of sex and the mean of problematic mobile phone use of female students was higher (Bianchi and Phillips, 2005; Karakuyu and Ata, 2019; Yılmaz, Şar and Civan, 2015).

In terms of academic success of students, statistically significant difference between groups was found according to the variables; how long have you been using mobile phone, daily use of mobile phone, social media use and how much time do you spend time on social media in a day.

It was found that academic success of students, whose MMPUS mean is low, is higher and above the average. In other words, students with high academic success, who participated in the study, have lower MMPUS mean and higher academic success in comparison to the groups that “spend time on their phone more than 6 hours daily”, “use social media” and “spend time on social media more than 6 hours”.

According to the correlation analysis in the study, mobile phone use has a negative low effect on the academic success. In other words, it was found out that one-unit mobile phone use would decrease academic success at a 16.4% rate.

In literature review, similar results were found in the study regarding the effect of mobile phone use of students on their academic success. In the study, carried out by Akyıldız (2017), to analyse the relationship between the mobile phone addiction level of total 230 students, studying in English prep school in the university, and their academic success in English, a negative and statistically significant relationship was found between mobile phone addiction level of students and their academic success. With reference to the findings obtained, it was found out as the level of mobile phone addiction of students increases, the rate of academic success decreases. In the study, carried out by Seo et al. (2016), it was found that mobile phone use decreases academic success of students as well as its several negative effects. Similar results were obtained in the study, carried out by Felisoni and Godoi (2018) to determine the effect of mobile phone use on

academic performance, and it was found that academic success of students decreases as mobile phone use increases. Similar results were obtained in the study carried out by Bülbül and Tunç (2018), and it was found that success of students decreases as their mobile phone use increases. In the study, carried out by Karakuyu and Ata (2019) among associate students, similar results were obtained and it was found that mobile phone use decreases academic success. In the studies, carried out by Yen et al. (2009) in Taiwan and Tavolacci et al. (2015) in France, regarding students, similar results were obtained and it was found that mobile phone use of students has negative effects on their academic success.

On the other hand, in the study, carried out by Cheng and Tzeng (2010), it was found that students who do researches regarding course subjects on the Internet are academically more successful.

When the results of this study and similar studies in the literature analysed, it was found that excess mobile phone use of students affect negatively their academic performance. By looking at the results of limited number of studies, which show that students' easy access to information and doing research regarding course subject in the era of technology would increase their academic success, it is thought that carrying out different studies for students to use efficiently their mobile phones for their academic lives and giving them education would be helpful.

## Reference

- Akyıldız, S. T. (2017). *The Relationship between Mobile Phone Addiction and Academic Achievement in University Students*, II. International Multidisciplinary Studies Congress, Ankara.
- Ataş, A. H. & Çelik, B. (2019). Smartphone Use of University Students: Patterns, Purposes and Situations. *Malaysian Online Journal of Educational Technology*, 7(2), 59 – 70.
- Aydın, İ. E. (2016). A Study on Usage of Social Media among University Students: Anadolu University Case. *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 16, 373 – 386.
- Bal, E. & Balci, Ş. (2020). Smartphone Addiction: A Study on Efficacy of Personality Traits and Usage Patterns. *Journal of Erciyes Communication*, 7(1), 369 – 394.
- Bianchi, A. & Phillips, J.G. (2005). Psychological Predictors of Problem Mobile Phone Use. *CyberPsychology & Behavior*, 8(1), 39-51.
- Bülbül, H. & Tunç, T. (2018). Phone And Game Addiction: Scale Analysis, The Starting Age And Its Relationship With Academic Success. *Suleyman Demirel University Visionary Journal*, 9(21), 1-13.
- Chakraborty, K., Basu, D. & Kumar, V. (2010). Internet Addiction: Consensus, Controversies and The Way Ahead. *East Asian Arch Psychiatry*, 20, 123 – 132.
- Cheng, S. & Tzeng, J. (2010). College Female and Male Heavy Internet Users' Profiles of Practices and Their Academic Grades and Psychosocial Adjustment. *Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking*, 13(3), 257–262.
- Çiftçi, H. (2018). Social Media Addiction among University Students. *MANAS Journal of Social Studies*, 7(4), 417–432.
- Datareportal (2019). Digital 2019: Turkey, <https://datareportal.com/reports/digital-2019-turkey>, Reached date: 10.06.2020.

- Diker, E. & Taşdelen, B. (2017). What Would Happen Without Social Media? A Qualitative Research on Social Media Addicted Youngsters' Opinions. *International Peer-Reviewed Journal Of Communication And Humanities Research*, 17, 189–206.
- Felisoni, D. D. & Godoi, A. S. (2018). Cell Phone Usage and Academic Performance: An Experiment. *Computers&Education*, 117, 175-187.
- Karakuyu, A. & Ata, F. (2019). Investigation of Some Variables of Nomophobias' of Associate Degree Students. *The Journal of International Social Research*, 12, 67.
- Kuyucu, M. (2017). Use of Smart Phone and Problematic Of Smart Phone Addiction In Young People: "Smart Phone (Colic)" University Youth. *Global Media Journal TR Edition*, 7(14), 327 – 359.
- Noyan, C. O., Darçın, A. E., Nurmedov, S., Yılmaz, O. & Dilbaz, N. (2015). Validity and Reliability of the Turkish Version of the Smartphone Addiction Scale-Short Version Among University Students. *Anatolian Journal of Psychiatry*, 16(1), 73 – 81.
- Pamuk, M. & Atlı, A. (2016). Development of a Problematic Mobile Phone Use Scale for university students: validity and reliability study. *Dusunen Adam The Journal of Psychiatry and Neurological Sciences*, 29, 49-590.
- Seo, D. G., Park, Y., Kim, M. K. & Park, J. (2016). Mobile Phone Dependency and its Impacts on Adolescents' Social and Academic Behaviors. *Computers in Human Behaviour*, 63, 282-292.
- Tavolacci, M.P., Meyrignac, G., Richard, L., Dechelotte P. Ve Ladner, J. (2015). "Problematic Use of Mobile Phone and Nomophobia Among French College Students", *The European Journal of Public Health*, 25(Suppl 3): 206.
- Talan, T., Korkmaz, A. & Gezer, M. (2016). *A Study On Investigating The Mobile Phone Addiction Levels From The University Students*. International Contemporary Educational Research Congress.
- Yen. C.F., Tang. T. C., Yen. J., Lin. H., Huang. C., Liu. S., Ko. C., (2009) Symptoms of problematic cellular phone use, functional impairment and its association with depression among adolescents in Southern Taiwan, *Journal of Adolescence*, Volume 32, Issue 4
- Yılmaz, G., Şar, A. H. & Civan, S. (2015). Investigation of Adolescent Mobile Phone Addiction by Social Anxiety Effect of Some Variable. *Online Journal of Technology Addiction & Cyberbullying*, 2(4), 20-37.





# Awareness Scale for Reducing Ecological Footprint: A Validity and Reliability Study

Mustafa Agah Tekindal<sup>1\*</sup>, Gözde Zabzun<sup>2</sup>, Zeynep Özel<sup>3</sup>, Mert Demirsöz<sup>4</sup>, Melike Tekindal<sup>5</sup>

<sup>1\*</sup> İzmir Katip Çelebi University, Faculty of Medicine, Department of Biostatistics, İzmir, Turkey, (ORCID: 0000-0002-4060-7048), [matekindal@gmail.com](mailto:matekindal@gmail.com)

<sup>2</sup> Ege University, Institute of Education Sciences, Department of Department of Computer Education and Instructional Technologies, İzmir, Turkey, (ORCID: 0000-0002-9502-8756), [gzabzun@gmail.com](mailto:gzabzun@gmail.com)

<sup>3</sup> Selçuk University, Faculty of Veterinary Medicine, Department of Biostatistics, Konya, Turkey, (ORCID: 0000-0002-1077-1250), [zozel4225@gmail.com](mailto:zozel4225@gmail.com)

<sup>4</sup> KTO Karatay University, Technology Transfer Office, Konya, Turkey, (ORCID: 0000-0002-4800-2529), [mertdmrsz17@gmail.com](mailto:mertdmrsz17@gmail.com)

<sup>5</sup> İzmir Katip Çelebi University, Faculty of Health Sciences, Department of Social Work, İzmir, Turkey, (ORCID: 0000-0002-3453-3273), [meliketunctekindal@gmail.com](mailto:meliketunctekindal@gmail.com)

(First received 28 May 2021 and in final form 23 September 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.944221)

**ATIF/REFERENCE:** Tekindal, M. A., Zabzun, G., Özel, Z., Demirsöz, M. & Tekindal, M. (2021). Awareness Scale for Reducing Ecological Footprint: A Validity and Reliability Study. *European Journal of Science and Technology*, (27), 439-445.

## Abstract

People form a whole by interacting with the environment in which they live. With this interaction, the use of natural resources takes place. This study was carried out in a methodological manner in order to develop a measurement tool that will raise awareness for the reduction of damage by focusing on the concept of environmental responsibility with increasing ecological problems. The research was applied to 203 people and a pilot study was conducted. Validity and reliability analyzes were made with the results obtained from this questionnaire. After this, the study was completed by applying the scale, whose validity and reliability was finally provided to 260 individuals. The questionnaires were applied between 16 and January 27, 2021, with the approval. In the study, after the factors were determined by explanatory factor analysis as a result of the pilot study applied to 203 people, they were tested with confirmatory factor analysis to test the suitability of the factor structures. The model obtained according to the fit index values was found to fit well. According to the findings obtained from the study, it was determined that the scale is a measurement tool with high validity and reliability. It is recommended to be used in determining ecological footprint awareness.

**Keywords:** Ecological footprint, Environment, Validity and reliability

## Ekolojik Ayak İzinin Azaltılmasına Yönelik Farkındalık Ölçeği Geçerlik ve Güvenirlik Çalışması

### Öz

İnsanlar yaşadıkları çevre ile etkileşim kurarak bir bütün oluşturur. Bu etkileşim ile doğal kaynakların kullanımı gerçekleşir. Bu çalışma, artan ekolojik problemler ile birlikte çevresel sorumluluk kavramına odaklanarak verilen zararın azaltılmasına yönelik farkındalık oluşturacak bir ölçme aracı geliştirmek amacıyla metodolojik türde yapılmıştır. Araştırma, 203 kişiye uygulanarak pilot çalışma yapılmıştır. Bu anketten elde edilen sonuçlar ile geçerlilik güvenilirlik analizleri uygulanmıştır. Daha sonrasında 260 kişiye geçerliliği ve güvenilirliği sağlanan ölçek uygulanarak çalışma sonlandırılmıştır. Anketler onay alınarak, 16 Ocak – 27 Ocak 2021 tarihleri arasında uygulanmıştır. Çalışmada 203 kişiye uygulanan pilot çalışma sonucunda faktörler açıklayıcı faktör analizi (AFA) ile belirlendikten sonra, faktör yapılarının uygunluğunu test etmek için doğrulayıcı faktör analizi (DFA) ile test edildi. Uyum indeksi değerlerine göre elde edilen model iyi uyum sağladığı görüldü. Çalışma sonucu elde edilen bulgulara göre Ölçeğinin yüksek geçerlik ve güvenilirliğe sahip olan bir ölçüm aracı olmasından dolayı ekolojik ayak izi farkındalığı belirlenmesinde kullanılması önerilmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Ekolojik ayak izi, Çevre, Geçerlilik güvenilirlik

\* Corresponding Author: [matekindal@gmail.com](mailto:matekindal@gmail.com)

## 1. Introduction

People interact with the environment for their vital needs. Scarce natural resources are used for vital activities. With the industrialization and population growth, environmental problems grow rapidly and become a problem that erodes natural resources and threatens the planet (Tosunoğlu, 2014).

Ecological destruction occurs as a result of the deterioration of the ecosystem balance caused by the environmental problems and it expands by threatening the world, i.e. the habitat of living things. Factors such as industrialization, technological development, rapid consumption of natural resources cause an increase in ecological destruction and become a world problem (Akıllı, Kemahlı, Okudan, 2008).

With the rapid increase of environmental problems and observation of their consequences, new concepts have emerged to raise awareness of these problems. "Ecological Footprint" is one of these concepts. This concept was first introduced by Prof. William Rees, Dr. Mathis Wackernagel, et al. The purpose of the concept is to find out which factors the damage is caused by using a new calculation method for measuring the productivity and amount of natural resources, consuming natural resources and developing solutions to prevent damage to these concepts (Akıllı, et al., 2008: 7; Ruževičius, 2010).

Ecological Footprint is a calculation [measurement] technique that shows the amount of natural resources consumed in the world, the size of the areas required for waste disposal, and how biologically productive areas are used by countries or individuals (Rapport, 2000).

With this technique, the water and fertile land area required for the production of the consumed resources and the control of the waste generated in this process can be expressed in terms of "global hectares" (*gha*). The main purpose is to calculate how long this ecological destruction will last by constantly consuming natural resources by living creatures and creating the waste as a result. Based on this calculation, it will be able to reveal the amount of remaining natural resources and generate the solutions that can prevent the ecological destruction (Tosunoğlu, 2014; Costanza, 2000).

In this respect, the national scale calculation formula for the ecological footprint is expressed as follows (Kaypak, 2013):

Ecological Footprint (*ha*) = Consumption × Production Area × Population

The consumption variable in the ecological footprint formula is expressed as the proxy for the use of resources. Production area represents the amount of biological production area that can be met in the amount consumed (Lenzen, Hansson, Bond, 2007).

For the continuity of life, the ecological footprint is an effective tool in raising the awareness of people's environmental behaviors, as it expresses the destruction caused by living

creatures on the planet in numerical [quantitative] terms (Keleş, Naim, Özsoy, 2008; Coşkun and Sarıkaya, 2014).

The main purpose of this study is, in view of increasing ecological problems, to develop a measurement tool that will raise awareness about reducing the damage to natural resources and environment by focusing on the concept of environmental responsibility for global life of individuals and countries. With this tool, more efficient use of the resources can draw attention to the environmental damage and guide for a more sustainable life.

The main motivation of the study is to determine the ecological footprint awareness of the parents of the students and to create awareness in their children.

## 2. Material and Method

In this study, it was aimed to develop a new scale on ecological footprint by applying the validity and reliability analyzes of the scale. In the research, scanning model technique, which is one of the quantitative research methods, was used. This model consists of arrangements made by taking a group of samples to make a general assessment about the universe (Karasar, 2020). This study was planned and evaluated as cross-sectional.

### 2.1. Research Design

This study was conducted to determine the awareness levels for the parents of students to reduce the ecological footprint. The research was applied to 203 individuals in Çiğli district center of İzmir province and a pilot study was conducted. Validity and reliability analyzes were made with the results obtained from this questionnaire [survey]. After this, the study was completed by applying the scale, whose validity and reliability was finally provided to 260 individuals. The questionnaires were applied between January 16, 2021 and January 27, 2021, with the approval of the parents. The questionnaire form used in the study is given in Annex 1.

### 2.2. Sample Size

The sample size to be used for the validity study was determined as at least 195 people, with the help of the GPOWER program, the required number of observations for the Cronbach Alpha ( $\alpha$ ) method. Accordingly, the power of the test was expected to be about 80%. When the power analysis of the study was made, it was determined that there were at least 195 people at 5% error level and 85% power level.

### 2.3. Sample Size

The study the Awareness Scale for Reducing the Ecological Footprint consists of six sub-dimensions: Energy, Under the Laws, Recycling, Transportation, Water Consumption and Food. Energy sub-dimension 1., 2., 3., 4., 5., 6., 7., 8. Under Laws, 9., 10., 11., 12., Recycling 13., 14., 15., 16., 17., Transportation 18., 19., 20., 21., 22., Food 23., 24., 25., 26., Water Consumption 27., 28., 29., 30. It consists of questions. Scale categories; It is obtained by summing the subscales by scoring Strongly Disagree = 1, Disagree = 2, Undecided = 3, Agree = 4 and Strongly Agree = 5.

**2.4. Statistical Methods**

The data [in this study] were analyzed using IBM SPSS Statistics for Windows (Version 25.0) and Amos (Version 24.0) statistical package program.

The following tests were performed to evaluate the validity of the scale: Cronbach alpha coefficient for internal consistency between items, Tukey summability test for summability, Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) test for the adequacy of the number of units in the sample, Barlett test for factorizability, Principal Component Analysis (PCA) for determining the factors structure. Scale reliability was analyzed by the test-retest, intragroup correlation coefficients, parametric and non-parametric methods in paired samples. Finally, an appropriate Structural Equation Model (SEM) for the confirmatory factor analysis was created and the accuracy of this model was checked with the fit index values, and the relationships between the concepts of the scale were determined (Demirsöz, Özel, Yonar, Tekin, Tekindal, 2021).

**2.5. Ethical Responsibility**

In the study, the permission was received from the ethics committee and the relevant institution. In addition, the purpose of the study was explained to the participants and their approval was obtained. The study was approved by the Local Ethics İzmir Kâtip Çelebi University Social Research (Approval number: 2021/04-05 Date: 08/04/2021).

**2.6. Awareness Scale For Reducing The Ecological Footprint**

The purpose of constructing the Ecological Footprint Scale is to plan the natural resources that are consumed and needed individually or socially. [In this study] Items were scored using the 5-point Likert scale as follows: 1: Strongly Disagree, 2: Disagree, 3: Undecided (Neutral), 4: Agree, 5: Strongly Agree.

**3. Results and Discussion**

Table 1. Common Factor Variances and Factor Loadings for Awareness Scale for Reducing the Ecological Footprint

Sub-Dimension Titles	Questions	Factor Loadings					
		Dimension 1 <sup>st</sup>	Dimension 2 <sup>nd</sup>	Dimension 3 <sup>rd</sup>	Dimension 4 <sup>th</sup>	Dimension 5 <sup>th</sup>	Dimension 6 <sup>th</sup>
Energy	1. Clean and least environmentally damaging energy sources are my preference for heating.	0.573					
	2. I pay attention that the windows are closed when the air conditioning devices are on.	0.693					
	3. I pay attention that electrical appliances are not left on for a long time.	0.775					
	4. I prefer economical lighting and heating products.	0.820					
	5. I prefer double-glazed windows because it provides thermal insulation.	0.791					
	6. I use led bulbs instead of old bulbs at home.	0.738					
	7. I do not allow devices such as PCs, tablets and televisions to be left unnecessary.	0.751					
	8. I do not operate machines such as washing, dishwashing and drying machines before they are fully charged.	0.717					
Legal Scope (Laws Factor)	1. Positioning the urban structure in a way that solar energy can be used effectively is beneficial for the environment.		0.793				
	2. I think that the sale of vehicles with the least impact on the deterioration of the ecological balance should be encouraged by the government.		0.824				

	3. I think that green areas should not be abandoned for urbanization and industrialization.	0.761					
	4. I think that the measures to protect environmental health and prevent pollution of natural resources for industrial entities should be within the scope of legal obligation.	0.812					
Recycling	1. I recycle electronic waste.	0.600					
	2. I try to recycle household wastes.	0.707					
	3. I try to use leftovers in a different way instead of throwing away.	0.761					
	4. I sort the wastes in the house according to their structure and throw them away.	0.801					
	5. I prefer to use recyclable packages for shopping.	0.731					
Transportation	1. I prefer to share the same car with others as it is less harmful to the environment.	0.772					
	2. I prefer to use public transport because it is less harmful to the environment.	0.798					
	3. I prefer vehicles such as ginger, scooters and electric skateboards as they are less harmful to the environment.	0.517					
	4. I prefer cycling to driving.	0.679					
	5. If the distance is appropriate, I prefer walking to driving.	0.461					
Water Consumption	1. I prefer wiping instead of washing to ensure less water consumption in car cleaning.	0.680					
	2. I prefer cosmetic products that do not harm the environment in the content of cleaning materials.	0.763					
	3. I take care not to waste more water than necessary for personal cleaning.	0.615					
	4. I prefer to water the plants in the house/garden using appropriate methods.	0.648					
Nutrition (Food)	1. I do not eat foods that are not in season.	0.546					
	2. When shopping for food, I buy it as much as I need.	0.768					
	3. I cook food to the extent that it can be consumed.	0.731					
	4. When shopping for food, I prefer local products.	0.658					
	Core Values	6.001	3.818	3.609	2.866	2.844	2.813
	Variance Description Ratios %	20.002	12.727	12.029	9.554	9.479	9.378
	Cronbachs'Alpha ( $\alpha$ )	0.940	0.920	0.909	0.819	0.886	0.814

Total Variance Ratio = 73.169

Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) = 0.934

Bartlett test value =5085.799 **p=0.001\*\***

Cronbachs' Alpha ( $\alpha$ )=0.960

p\* < 0.05

p\*\* < 0.01

The KMO test is used to test whether the distribution is suitable for the factor analysis and a value above 0.90 is considered perfect. Based on this information, it can be said that the KMO value in this study was at a very good level. Bartlett test result was obtained as 5085.799 ( $p < 0.05$ ). According to this result, it was revealed that the applied measurement variable was multivariate in the universe parameter. In this study, the factors with eigenvalues greater than 1.50 and the factors with no limitations on the number of factors were included in the scale. Factors with an eigenvalue of 1 or greater are considered as the important factors in the factor analysis.

Considering that the variance rates varying between 60% and 80% in the factor analysis are considered ideal, it can be said that the amount of variance obtained in this study is at an appropriate level (Fornell and Lacker, 1981; Peterson, 2000).

According to the table; the factor loads of the questions in the first dimension (Energy) are between 0.573 and 0.820, the factor loads of the questions in the second dimension (Legal Scope (Laws Factor)) are between 0.761 and 0.824, the factor loads of the questions in the third dimension (Recycling) are between 0.600 and 0.801, the factor loads of the questions in the fourth dimension (Transportation) vary between 0.461 and 0.798, the factor loads of the questions in the fifth dimension (Water Consumption) are between 0.615 and 0.763, and the factor loads of the questions in the sixth dimension (Nutrition (Food)) vary between 0.546 and 0.768.

Since Cronbachs' Alpha ( $\alpha$ ) was above 0.70, its reliability was deemed sufficient (Cronbach, 1951). For this reason, sub-features of 6 dimensions of the Awareness Scale for Reducing

Ecological Footprint were measured. The questionnaire created according to these results is a reliable measurement tool.

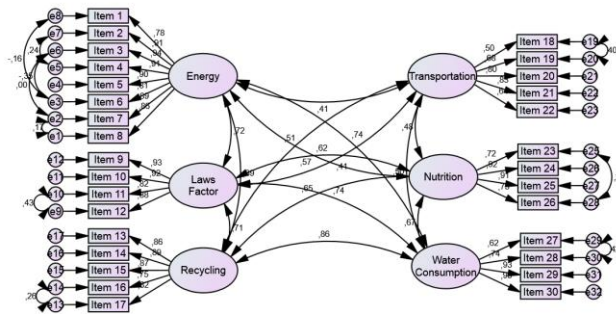
The model obtained for the Awareness Scale for Reducing the Ecological Footprint ( $\chi^2 = 988.077$ ,  $df = 381$ ) consists of six dimensions [sub-scales]. The fit indices for this model showed that the model was fitted at an acceptable level (Table 2).

Table 2. Statistical Values Regarding the Fit of the Structural Equation Model (Erkorkmaz, Etikan, Demir, Özdamar, Sanisoğlu 2013)

Measurement	Good Fit	Acceptable Fit	Fit Index Values of the Model
( $\chi^2$ /sd)	≤ 3	≤ 4-5	2.600**
RMSEA	≤ 0.05	0.06-0.08	0.079*
IFI	≥ 0.95	0.94-0.90	0.921**
CFI	≥ 0.97	≥ 0.95	0.921**
GFI	≥ 0.90	0.89-0.85	0.803**
TLI	≥ 0.95	0.94-0.90	0.910**
	Acceptable fit *	Good fit **	

When the fit indices were examined according to Table 2, it was understood that the model had perfect fit values. The most reliable was RMSEA. The tested model is shown in Figure 1.

Figure 1: SEM Model for Interaction Among Six Sub-Scales of Awareness Scale for Reducing Ecological Footprint



The relationships that were revealed as a result of the analysis made after the improvements [adjustments] were obtained are given in Table 3. A statistically significant positive correlation

was found between the sub-dimensions of the Awareness Scale for Reducing the Ecological Footprint ( $p < 0.05$ ).

*Table 3. Structural Equation Model Regression Weights After Adjustments Made According to Modification Indexes*

Tested Path		Standardized Estimation ( $\beta$ )	Estimation ( $\beta$ )	Standard Error	Critical Value	P	
Energy	<-->	Legal Scope (Laws Factor)	0.717	0.58	0.07	8.333	0.001**
Energy	<-->	Recycling	0.686	0.587	0.074	7.912	0.001**
Energy	<-->	Transportation	0.415	0.239	0.051	4.688	0.001**
Energy	<-->	Water Consumption	0.575	0.439	0.065	6.770	0.001**
Energy	<-->	Nutrition (Food)	0.738	0.515	0.072	7.206	0.001**
Legal Scope (Laws Factor)	<-->	Recycling	0.708	0.596	0.074	8.066	0.001**
Legal Scope (Laws Factor)	<-->	Transportation	0.407	0.231	0.05	4.605	0.001**
Legal Scope (Laws Factor)	<-->	Water Consumption	0.625	0.47	0.066	7.094	0.001**
Legal Scope (Laws Factor)	<-->	Nutrition (Food)	0.742	0.51	0.07	7.235	0.001**
Recycling	<-->	Transportation	0.513	0.308	0.059	5.177	0.001**
Recycling	<-->	Water Consumption	0.65	0.517	0.073	7.096	0.001**
Recycling	<-->	Nutrition (Food)	0.861	0.625	0.084	7.486	0.001**
Transportation	<-->	Water Consumption	0.484	0.26	0.053	4.907	0.001**
Transportation	<-->	Nutrition (Food)	0.499	0.244	0.051	4.840	0.001**
Water Consumption	<-->	Nutrition (Food)	0.674	0.438	0.067	6.510	0.001**

According to Table 3, statistically significant positive relationships were found between the sub-dimensions [sub-scales] of the Awareness Scale for Reducing the Ecological Footprint ( $p < 0.05$ ). The highest relationship was between the Recycling subscale and the Nutrition (Food) subscale, while the lowest relation was between the Legal Scope (Laws Factor) subscale and the Transportation subscale.

When these results are examined in general, the results of the study conducted for the Awareness Scale for Reducing the Ecological Footprint is a reliable and valid measurement tool.

In our age where the environmental problems are soaring, individuals who have the environmental awareness should transfer it to other people in order to minimize these problems. In order to raise individuals with this awareness, the ducation [fort his purpose] should be provided at school and within the family. In order to acquire the environmental awareness at school and in family, teachers and parents should have this awareness, respectively. The purpose of applying this study to parents in particular was to raise their awareness.

In addition, environmental problems bring along social problems. Peace and security between states are under threat due to resource shortages that occur with environmental problems (Canter and Ndegwa, 2002; Dalby, 2008; Güler, 2009). In order to minimize this danger [threat], social ecological footprint awareness should be constructed around the world.

The Awareness Scale for Reducing the Ecological Footprint in this study, whose validity and reliability tests have been made,

has a six-component structure; namely Energy, Legal Scope (Laws Factor), Recycling, Nutrition (Food), Water Consumption, and Transportation

Whether the items were related to the situation to be measured, whether they were suitable for the Turkish population, whether they were appropriate for the purpose of the scale, whether they reflected the situation to be measured in a comprehensive way were evaluated according to the expert opinion. At the stage of evaluating the items, five academicians in the relevant fields were asked to give one of the answers to “Necessary”, “Necessary but Should be Corrected”, “Unnecessary” for each item.

Whether the scale was reliable or not was determined according to the corrected item correlation of all items, the summability of the items, and Barlett's sphericity value and time-invariance, and internal consistency coefficients. Reliability is the ability of the measurement tool to measure without errors. It determines not only the total correlations of the item and the validity of the item, but also the positive relationship between the test items that make up the [sub]scale and the entire scale. Another point to be considered for the reliability of the scale is the Cronbach's Alpha, i.e., the internal consistency coefficient of the scale. A Cronbach Alpha coefficients with lower than 0.40 shows that the scale is not reliable, those between 0.40-0.59 is low reliability, those between 0.60-0.79 is quite reliable, and those between 0.80-1.00 is highly reliable (Gözüm, 2003). Regarding the internal consistency in the validity and reliability application

of the scale, it can be said that it is highly reliable with a Cronbach alpha value of 0.960.

#### 4. Conclusions and Recommendations

According to the findings obtained as a result of the study, it was determined that the internal consistency coefficient of the items was highly reliable. It was also found that the scale had the construct validity. Therefore, it is recommended to use the Awareness Scale for Reducing the Ecological Footprint, as it is a measurement tool with high validity and reliability.

#### References

- Akıllı, H., Kemahlı, F., Okudan, K., & Polat, F. (2008). Ekolojik Ayak İzinin Kavramsal İçeriği Ve Akdeniz Üniversitesi İktisadi Ve İdari Bilimler Fakültesi'nde Bireysel Ekolojik Ayak İzi Hesaplaması. *Akdeniz IIBF Dergisi*, 8(15), 1-25.
- Canter, M.J., & Ndegwa, S.N. (2002). Environmental Scarcity and Conflict: A Contrary Case from Lake Victoria. *Global Environmental Politics*, 2(3), 40-62. <https://doi.org/10.1162/152638002320310527>
- Cronbach, L.J. (1951). Coefficient alpha and the internal structure of tests. *Psychometrika*, 16(3), 297-334. <https://doi.org/10.1007/BF02310555>
- Costanza, R. (2000). The dynamics of the ecological footprint concept. *Ecological Economics*, 32(3), 341-345.
- Coşkun, I.Ç., & Sarıkaya, R. (2014). Sınıf Öğretmeni Adaylarının Ekolojik Ayak İzi Farkındalık Düzeylerinin Belirlenmesi. *Journal of Turkish Studies*, 9(5), 1761-1787. <https://doi.org/10.7827/TurkishStudies.6598>
- Dalby, S. (2008). Güvenlik ve Çevre Bağlantılarına Yeniden Bakmak. *Uluslararası İlişkiler Dergisi*, 5(18), 179-195.
- Demirsöz, M., Özel, Z., Yonar, H., Tekin, M.E., & Tekindal, M.A. (2021). Structural determination of the relationship between trait anxiety and personal indecisiveness for undergraduates of the faculty of veterinary medicine: The case of Selçuk University. *Veteriner Hekimler Derneği Dergisi*, 92(1), 60-75. <https://doi:10.33188/vetheder.803804>
- Erkorkmaz, Ü., Etikan, İ., Demir, O., Özdamar, K., & Sanisoğlu, S. Y. (2013). Doğrulayıcı faktör analizi ve uyum indeksleri. *Türkiye Klinikleri Journal of Medical Sciences*, 33(1), 210-223.
- Fornell, C., & Larcker, D.F. (1981). Structural equation models with unobservable variables and measurement error: *Algebra and statistics*, 18(3), 382-388 <https://doi.org/10.1177/002224378101800313>
- Gözüm, S. (2003). A guide for transcultural adaptation of the scale II: psychometric characteristics and cross-cultural comparison. *Turkish J Res Dev Nurs*, 5(1), 3-14.
- Güler, T. (2009). Ekoloji Temelli Bir Çevre Eğitiminin Öğretmenlerin Çevre Eğitimine Karşı Görüşlerine Etkileri. *Eğitim ve Bilim*, 34(151), 30-43
- Karasar, N. (2020). Bilimsel araştırma yöntemi: Kavramlar, ilkeler, teknikler. *Ankara: Nobel Yayıncılık*.
- Kaypak, Ş. (2013). Ekolojik ayak izinden çevre barışına bakmak. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, 6(1), 154-159.
- Keleş, Ö., Naim, U., & Özsoy, S. (2008). Öğretmen adaylarının ekolojik ayak izlerinin hesaplanması ve değerlendirilmesi. *Ege Eğitim Dergisi*, 9(2), 1-15.
- Lenzen, M., Hansson, C.B., & Bond, S. (2007). On the bioproductivity and land-disturbance metrics of the Ecological Footprint. *Ecological Economics*, 61, 6-10. <https://doi:10.1016/j.ecolecon.2006.10.018>.

- Peterson, R. (2000). A meta-analysis of variance accounted for and factor loadings in exploratory factor analysis. *Marketing Letters*, 11, 261-275.
- Rapport, D.J. (2000). Ecological Footprints And Ecosystem Health: Complementary Approaches To A Sustainable Future. *Ecological Economics*, 32, 367-370. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(99\)00156-1](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(99)00156-1)
- Ruževičius, J. (2010). Ecological Footprint As An Indicator Of Sustainable Development. *Economics And Management*, 15, 711-718.
- Tosunoğlu, B. (2014). Sürdürülebilir Küresel Refah Göstergesi Olarak Ekolojik Ayak İzi. *Hak İş Uluslararası Emek ve Toplum Dergisi*, 3(5), 132-149.

**Annex I**

<b>Ecological Footprint Awareness</b>		<b>1-Strongly Disagree</b>	<b>2-Disagree</b>	<b>3-Undecided (Neutral)</b>	<b>4-Agree</b>	<b>5-Strongly Agree</b>
1	Clean and least environmentally damaging energy sources are my preference for heating.	1	2	3	4	5
2	I pay attention that the windows are closed when the air conditioning devices are on.	1	2	3	4	5
3	I pay attention that electrical appliances are not left on for a long time.	1	2	3	4	5
4	I prefer economical lighting and heating products.	1	2	3	4	5
5	I prefer double-glazed windows because it provides thermal insulation.	1	2	3	4	5
6	I use led bulbs instead of old bulbs at home.	1	2	3	4	5
7	I do not allow devices such as PCs, tablets and televisions to be left unnecessary.	1	2	3	4	5
8	I do not operate machines such as washing, dishwashing and drying machines before they are fully charged.	1	2	3	4	5
9	Positioning the urban structure in a way that solar energy can be used effectively is beneficial for the environment.	1	2	3	4	5
10	I think that the sale of vehicles with the least impact on the deterioration of the ecological balance should be encouraged by the government.	1	2	3	4	5
11	I think that green areas should not be abandoned for urbanization and industrialization.	1	2	3	4	5
12	I think that the measures to protect environmental health and prevent pollution of natural resources for industrial entities should be within the scope of legal obligation.	1	2	3	4	5
13	I recycle electronic waste.	1	2	3	4	5
14	I try to recycle household wastes.	1	2	3	4	5
15	I try to use leftovers in a different way instead of throwing away.	1	2	3	4	5
16	I sort the wastes in the house according to their structure and throw them away.	1	2	3	4	5
17	I prefer to use recyclable packages for shopping.	1	2	3	4	5
18	I prefer to share the same car with others as it is less harmful to the environment.	1	2	3	4	5
19	I prefer to use public transport because it is less harmful to the environment.	1	2	3	4	5
20	I prefer vehicles such as ginger, scooters and electric skateboards as they are less harmful to the environment.	1	2	3	4	5
21	I prefer cycling to driving.	1	2	3	4	5
22	If the distance is appropriate, I prefer walking to driving.	1	2	3	4	5
23	I do not eat foods that are not in season.	1	2	3	4	5
24	When shopping for food, I buy it as much as I need.	1	2	3	4	5
25	I cook food to the extent that it can be consumed.	1	2	3	4	5
26	When shopping for food, I prefer local products.	1	2	3	4	5
27	I prefer wiping instead of washing to ensure less water consumption in car cleaning.	1	2	3	4	5
28	I prefer cosmetic products that do not harm the environment in the content of cleaning materials.	1	2	3	4	5



29	I take care not to waste more water than necessary for personal cleaning.	1	2	3	4	5
30	I prefer to water the plants in the house/garden using appropriate methods.	1	2	3	4	5

### Ekolojik Ayak İzi Farkındalık Ölçeği

		1-Kesinlikle Katılmıyorum	2-Katılmıyorum	3-Kararsızım	4-Katılıyorum	5-Kesinlikle Katılıyorum
1	Temiz ve çevreye en az zarar veren enerji kaynakları ısınmada tercihimdir.	1	2	3	4	5
2	İklimlendirme cihazları açıkken pencerelerin kapalı olmasına dikkat ederim.	1	2	3	4	5
3	Elektrikli ev aletlerinin uzun süre açık kalmamasına dikkat ederim.	1	2	3	4	5
4	Tasarruflu aydınlatma ve ısıtma ürünlerini tercih ederim.	1	2	3	4	5
5	Pencerelerin çift camlı olmasının ısı yalıtımı sağladığı için tercih ederim.	1	2	3	4	5
6	Evde eski ampuller yerine led ampuller kullanırım.	1	2	3	4	5
7	PC, tablet ve televizyon gibi cihazların gereksiz açık kalmasına izin vermem.	1	2	3	4	5
8	Çamaşır, bulaşık, kurutma...gibi makineleri tam doldurmadan çalıştırmam.	1	2	3	4	5
9	Kentsel yapılanmada güneş enerjisinin etkili kullanılabilir konumlandırılması çevre için faydalıdır.	1	2	3	4	5
10	Araçların, ekolojik dengenin bozulmasına etkisi en az olan araçların satışının devlet tarafından teşvik edilmesi gerektiğini düşünürüm.	1	2	3	4	5
11	Yeşil alanlardan şehirleşme ve sanayileşme amacıyla vazgeçilmemesi gerektiğini düşünürüm.	1	2	3	4	5
12	Endüstri kuruluşları çevre sağlığını koruyacak ve doğal kaynakların kirletilmesini önleyecek tedbirlerin yasal zorunluluk kapsamında olması gerektiğini düşünürüm.	1	2	3	4	5
13	Elektronik atıkları geri dönüşüme kazandırırım.	1	2	3	4	5
14	Evsel atıkların geri dönüşüme kazandırmaya çalışırım.	1	2	3	4	5
15	Artan yemekleri çöpe atmak yerine farklı şekilde değerlendirmeye çalışırım.	1	2	3	4	5
16	Evdeki atıkları yapılarına göre ayrıştırarak çöpe atarım.	1	2	3	4	5
17	Alışverişte geri dönüşüme uygun paketleri kullanmayı tercih ederim.	1	2	3	4	5
18	Aynı arabayı başkalarıyla ortaklaşa kullanmayı çevreye daha az zarar verdiğinden tercih ederim.	1	2	3	4	5
19	Toplu taşıma araçlarını kullanmayı çevreye daha az zarar verdiğinden tercih ederim.	1	2	3	4	5
20	Ginger, scooter, elektrikli kayak gibi araçları çevreye daha az zarar verdiğinden tercih ederim.	1	2	3	4	5
21	Bisiklet sürmeyi, araç kullanmaya tercih ederim.	1	2	3	4	5
22	Mesafe uygunsa yürümeyi ,araç kullanmaya tercih ederim.	1	2	3	4	5
23	Mevsiminde olmayan yiyecekler yemem.	1	2	3	4	5
24	Gıda alırken ihtiyacım kadar satın alırım.	1	2	3	4	5

25	Tüketilebilecek kadar yemek pişiririm.	1	2	3	4	5
26	Gıda alışverişi yaparken yerli ürünleri tercih ederim.	1	2	3	4	5
27	Araba temizliğinde daha az su tüketimini sağlamak için yıkama yerine silme işlemi tercih ederim.	1	2	3	4	5
28	Temizlik malzemelerinin içeriğinde çevreye zarar vermeyen kozmetik ürünleri tercih ederim.	1	2	3	4	5
29	Kişisel temizlik için gereğinden fazla su israfı yapmamaya özen gösteririm.	1	2	3	4	5
30	Evdeki/bahçedeki bitkileri doğru yöntemleri kullanarak sulamayı tercih ederim.	1	2	3	4	5

## **Annex II**

The study the Awareness Scale for Reducing the Ecological Footprint consists of six sub-dimensions: Energy, Under the Laws, Recycling, Transportation, Water Consumption and Food. Energy sub-dimension 1., 2., 3., 4., 5., 6., 7., 8. Under Laws, 9., 10., 11., 12., Recycling 13., 14., 15., 16., 17., Transportation 18., 19., 20., 21., 22., Food 23., 24., 25., 26., Water Consumption 27., 28., 29., 30. It consists of questions. Scale categories; It is obtained by summing the subscales by scoring Strongly Disagree = 1, Disagree = 2, Undecided = 3, Agree = 4 and Strongly Agree = 5.

Çalışmada Ekolojik Ayak İzinin Azaltılmasına Yönelik Farkındalık Ölçeği Enerji, Yasalar Kapsamında, Geri Dönüşüm, Ulaşım, Su Tüketimi ve Gıda olmak üzere altı alt boyuttan oluşmaktadır. Enerji alt boyutu 1., 2., 3., 4., 5., 6., 7., 8., Yasalar Kapsamında 9., 10., 11., 12., Geri Dönüşüm 13., 14., 15., 16., 17., Ulaşım 18., 19., 20., 21., 22., Gıda 23., 24., 25., 26., Su Tüketimi 27., 28., 29., 30. sorulardan oluşmaktadır. Ölçek kategorileri; Kesinlikle Katılmıyorum=1, Katılmıyorum=2, Kararsızım=3, Katılıyorum=4 ve Kesinlikle Katılıyorum=5 şeklinde puanlanarak alt ölçeklerin toplanması ile elde edilmektedir.



# Hatay Yöresinde Yetişen *Thymbra spicata* L. (Zahter/Karabaş Kekiği) Bitkisinin Uçucu Yağ Oran ve Bileşenlerinin Belirlenmesi

Oğuzhan Koçer<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Hatay, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-0104-7586), oguzhankocer@hotmail.com

(İlk Geliş Tarihi 7 Temmuz 2021 ve Kabul Tarihi 6 Eylül 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.963053)

**ATIF/REFERENCE:** Koçer, O. (2021). Hatay Yöresinde Yetişen *Thymbra spicata* L. (Zahter/Karabaş Kekiği) Bitkisinin Uçucu Yağ Oran ve Bileşenlerinin Belirlenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (27), 446-449.

## Öz

*Thymbra spicata* L. (zahter) bitkisi, başta Hatay olmak üzere, Gaziantep, Kilis ve ülkemizin akdeniz iklim kuşağında doğal olarak yetişmekte ve genellikle baharat olarak kullanılmaktadır. Bu çalışma, Hatay ilinden toplanan *Thymbra spicata* L. bitkilerinin uçucu yağ oran ve kompozisyonlarını belirlemek amacıyla yapılmıştır. Uçucu yağ içeriklerini analiz etmek için GC-MS (Gaz Kromatografi Kütle Spektrometresi) kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan uçucu yağlar bitki taze herbalarından su distilasyonu yöntemiyle elde edilmiş ve uçucu yağ oranı %2.73 olarak belirlenmiştir. Bitkide tespit edilen toplam bileşenlerin %99.45'ini temsil eden 22 farklı bileşen tanımlanmıştır. Zahter bitkisinden elde edilen ana bileşenler, cymene (%7.17), c-terpinene (%12.30), o-cymene (%10.05), ve carvacrol (%65.15) olarak tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** *Thymbra spicata* L., Zahter, Uçucu yağ, Gaz kromatografisi.

## Determination of Essential Oil Content and Components of *Thymbra spicata* L. (Zahter/Karabaş Kekiği) Plant Growing in Hatay Region

### Abstract

*Thymbra spicata* L. (zahter) plant is generally used as a spice in our country and grow under Mediterterinanean climate zones of our country, especially in Hatay, Gaziantep, and Kilis. This study was carried out to determine the essential oil content and compositions of *Thymbra spicata* L. plants collected from Hatay province. GC-MS (Gas Chromatography Mass Spectrometry) was used to analyze essential oil contents of zahter and determine its compositions. The essential oils used in this study were obtained from fresh herbs by using water distillation method, and the essential oil rate was determined as 2.73%. 22 different components were identified, representing 99.45% of the total components detected in the plant. The main components obtained from zahter were determined as cymene (7.17%), c-terpinene (12.30%), o-cymene (10.05%), and carvacrol (65.15%).

**Keywords:** *Thymbra spicata* L., Zaatar, Essential oil, Gas chromatography.

\* Sorumlu Yazar: [oguzhankocer@hotmail.com](mailto:oguzhankocer@hotmail.com)

## 1. Giriş

Tıbbi ve aromatik bitkiler her geçen gün artmakta olan iç talep ve dış pazar nedeniyle ülkemiz için ekonomik açıdan oldukça önem arz etmektedir (Türkmen, 2021). Günümüzde tıbbi bitkilerin aktiviteleri üzerine yoğun bir ilgi vardır. (Taşgın ve Asil, 2021). Bu bitkilerden elde edilen uçucu yağlar blimsel ve ticari olarak birçok kullanım alanına sahiptir (Soylu, ve ark. 2020). Ülkemizin önemli tıbbi ve aromatik bitkileri içinde yer etmiş olan kekik, Türkiye’de yıllık yaklaşık 20 bin ton üretim ile dünyadaki gereksinimin yaklaşık %70’ini karşılamaktadır (Başer, 2002; Trumpy, 2012). Ülkemiz, 2019 yılı verilerine göre 108 ülke ile serbest bölgelere büyük oranlarda kekik ihracatı yapmıştır. Yapılan bu ihracatlarda; Almanya Hollanda ve Amerika Birleşik Devletleri bu ülkeler arasında ilk sıralarda yer almaktadır. Ülkemiz genelinde elde edilen verilere göre kekik üretimi açısından en büyük paya sahip şehirler Denizli, Hatay, Aydın, Manisa, Antalya ve Uşak’tır (Tunca ve Yeşilyut, 2017). Ülkenin önemli ihracat ürünlerinden kekiğin önceki yıllarda doğadan toplanma oranı %95 civarındayken, bugün bu oran % 9 düzeylerine kadar inmiştir. (Tarım ve orman bakanlığı, 2020)

Tüm dünyada aroma ve çeşni elde etmede yaygın bir şekilde kullanılan kekik, 60 farklı tür bitkinin genel ismidir. Bunlar içinde hususiyetle, *Satureja*, *Thymus*, *Thymbra*, *Origanum* ve *Coridothymus* cinsleri hem yayılım olarak hemde ekonomik açıdan büyük önem arz etmektedir (Başer, 1994). Türkiye’de kekik ismiyle malum; *Origanum*, *Thymus*, *Satureja*, *Coridothymus* ve *Thymbra* cinslerinin türlerinden bazıları doğadan toplama şeklinde iken bazıları ise tarımı yapılmak suretiyle elde edilmektedir. Türkiye’de *Satureja* cinsine ait olan türler, ticareti yapılan mühim kekik türlerindedir. Bahsi geçen bu türlerin, yayılma alan ve populasyanlarının doğadaki vaziyetleri hususunda yeterli malumat yoktur (Satıl ve ark., 2002).

Türkiye’de yayılış gösteren kekik türlerini incelediğimiz zaman *Coridothymus* cinsinden 1 tür, *Origanum* cinsinden 23 tür ve 27 takson (% 65’i endemik), *Satureja* cinsinden 14 tür (%28’i endemik), *Thymus* cinsinden 38 tür (%52’si endemik) ve *Thymbra* cinsinden 2 tür ön plana çıkmaktadır (Başer, 1993; Başer, 1994; Baydar, 2005; Baydar ve Arabacı 2013). Sınıflandırmalar ve veriler göz önünde bulundurulduğunda, *Origanum* sınıfının %60’ı ülkemiz sınırları içerisinde yetişmektedir. Bu bağlamda ülkemiz *Origanum* cinsinin anavatanı konumundadır (Kintzios, 2002).

Araştırmada kullanılan *Lamiaceae* (*Labiatae*) familyasına ait olan *T. spicata* L. bitkisinin eşanlamlıları; *Thymbra verticillata* L. *Thymbra ambigua* E. D. Clarke, *Thymbra spicata* var. *spicata* L. (Davis, 1982; The Plant List, 2015). Ülkemizde ise zahter, sater, zater, kara kekik, karabaş kekik (Baytop, 1999; Akdoğan ve ark., 2014) şeklinde karşılık bulmaktadır. İngilizce ismi ise Zaatar şeklindedir (United Nations, 2010).

Ülkemiz topraklarının büyük bir kısmı organik maddece fakir olup (Kuzucu, 2017), yetiştirilecek olan bitkilerde organik madde kullanımı, tarımsal topraklarda hem toprak fiziksel koşullarını hem de mahsul verimini iyileştirir (Kuzucu, 2019; Atasever ve ark., 2020; Ertekin ve ark., 2020; Ertekin ve Çalmakçı, 2020). Gıda olarak tüketimi ise *T. spicata*’nın, kurutulmuş yaprak ve çiçekleri biçimindedir. İlkbahar mevsiminde taze sürgün olarak toplanıp bunlardan ürün alma şeklindedir. Su buharı distilasyonu, kurutulmuş toprak üstü bölümlerinden uçucu yağ ‘kekik yağı’ ve geri kalan yağ altındaki su ‘kekik suyu’ biçiminde değerlendirilir (Baytop, 1999; Şekeroğlu, 2008).

*T. spicata*’nın toplanması genelde ilkbahar mevsimin erken süreçlerinde genç sürgünler ile başlar. Çiçeklenme döneminden tohum bağlama dönemine değin devam eder. Geç hasattan kurutulmuş toprak üstü bölümlerde ise eflatun renginde çiçekler ve bir miktar da tohum bulunabilmektedir. (Şekeroğlu, 2010).

Gıda sektöründe ve özellikle baharatlarda, tüketici talepleri ve yasal gereklilikler nedeniyle kalite kontrol çok önemli olup (Asil, 2021) bu bağlamda üreticilerin maksimum düzeyde dikkatli ve titiz davranmaları gerekmektedir. Bu bitkiden elde edilen kurutulmuş çiçek hali yahut yapraklarından yapılan karışımın (% 1-5) halk ilacı olarak kullanımı mevcuttur. Çiçekli bir dal veya birkaç yaprak sıcak su içine atılıp sarımsı bir renge bürününceye kadar bekletilir ve yapılan infüzyon suya atılan kısımlar çıkarılarak çay olarak tüketilir (Baytop, 1999).

Toprak üstü bölümü, bitkinin keskin kokuya sahip uçucu yağını barındırmaktadır (Kaya ve ark., 2013). Bahsedilen bu uçucu yağın içerisinde yoğun olarak bulunan bileşikler p-simen, y-terpinen ve karvakol şeklindedir ve bunların yanı sıra timol,  $\alpha$ -pinen,  $\alpha$ -terpinen, mirsen, fi-karyofillen, gibi diğer bileşikler düşük oranda bulunmaktadır. (Müller-Riebau ve ark., 1997; Hancı ve ark., 2003; Baydar ve ark., 2004; Kılıç, 2006; Ünlü ve ark., 2009; Kızıl, 2010; Markovic ve ark., 2011; Kaya ve ark., 2013).

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Materyal

Çalışmada kullanılan bitki örnekleri Hatay ili Dörtyol ilçesinde yetişen bitkilerden elde edilmiş olup analizler Hatay Mustafa Kemal üniversitesi, tarla bitkileri bölümü, tıbbi bitkiler laboratuvarında yapılmıştır.

### 2.2. Metot

#### 2.2.1. Bitki Uçucu Yağlarının Elde Edilmesi

Çalışmamızda kullanılan uçucu yağlar bitki taze herbalarından (500 g) su distilasyonu yöntemiyle elde edilmiştir. Bitkilerin uçucu yağları clevenger sisteminde 3 saatlik buhar distilasyonu ile elde edilmiştir. Distilasyon sonucu elde edilen uçucu yağlar analizleri yapılmaya kadar +4 °C’de koyu renkli cam şişelerde saklanmıştır (Türkmen ve Mert, 2020).

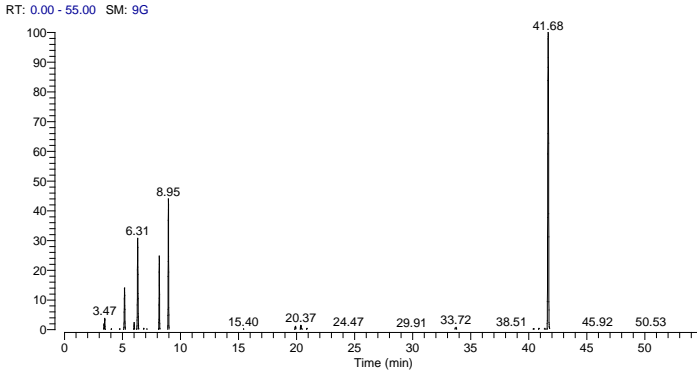
#### 2.2.2. Uçucu Yağ Bileşenlerinin Belirlenmesi

Kekik taze herba uçucu yağ bileşenlerinin belirlenmesi gaz-kromatografisi yöntemi ile saptanmıştır. Uçucu yağ bileşenlerinin belirlenmesinde Thermo Scientific ISQ Single Quadrupole model Gaz Kromatografisi cihazı kullanılmış ve aşağıdaki şartlar altında işlem gerçekleştirilmiştir. TR-FAME MS model, %5 Phenyl Polysilphenylene-siloxane, 0.25 mm iç çap x 60 m uzunlukla, 0.25  $\mu$ m film kalınlığına sahip kolon kullanılmıştır. Taşıyıcı gaz olarak 1 mL dk<sup>-1</sup> akış hızında helyum (% 99.9) kullanılmıştır. İyonizasyon 22 enerjisi 70 eV, kütle aralığı m/z 1,2-1200 amu olarak ayarlanmıştır ve veri toplanmasında tarama modu (Scan Mode) kullanılmıştır. MS transfer line sıcaklığı 250 °C, MS iyonizasyon sıcaklığı 220 °C, enjeksiyon port sıcaklığı 220 °C, kolon sıcaklığının başlangıç değeri 50 °C’ye ayarlanarak 3°Cdk<sup>-1</sup> ısı artırımını yapılarak 220 °C sıcaklığa kadar spektrumları kullanılarak (Wiley 9) tanımlanmıştır (Kara ve ark., 2020. Yipel ve Ark, 2021).

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Araştırmada Hatay yöresinde yetişen *T. spicata* L. bitkilerinden elde edilen yaş herba örneğinde uçucu yağ oranı %2.73 olarak belirlenmiştir. Zahter (*T. spicata* L.) bitkisinden elde edilen uçucu yağ bileşenlerine ait kromatogram Şekil 1. de, bileşenler ve değerleri ise Tablo 1. de belirtilmiştir.

Yaş herbaya ait uçucu yağ bileşenleri incelendiğinde elde edilen ana bileşenler, cymene (%7.17), c-terpinene (%12.30), o-cymene (%10.05), ve carvacrol (%65.15) olarak tespit edilmiştir (Tablo 1.).



Şekil 1. *Thymbra spicata* L. Bitkisinin Uçucu Yağ Kromatogramı

Tablo 1. *Thymbra spicata* L. Bitkisinin Uçucu Yağ Bileşenleri ve Değerleri

RT	Bileşenler	SI	RSI	Alan %
3.1	D-Limonene	954	957	0.12
3.41	$\alpha$ -Pinene	987	994	0.41
3.47	$\alpha$ -Phellandrene	981	983	0.77
4.04	Camphene	953	956	0.06
4.76	$\beta$ -Pinene	945	982	0.08
5.61	3-Carene	918	926	0.06
6	Myrcene	972	984	0.62
6.31	Cymene	988	993	7.17
6.83	Limonene	959	960	0.17
7.08	$\beta$ -Phellandrene	946	970	0.11
8.17	$\gamma$ -Terpinene	992	993	12.3
8.95	o-Cymene	981	982	10.05
14.65	1-Octen-3-ol	980	987	0.11
15.79	Sabinene hydrate	957	972	0.1
19.9	Caryophyllene	985	989	0.49
20.37	trans-Caryophyllene	989	992	0.59
20.54	Terpinen-4-ol	972	977	0.16
24.28	Isoborneol	922	955	0.1
33.72	Caryophyllene oxide	984	988	0.55
38.51	Spathulenol	936	943	0.1
40.42	Thymol	949	962	0.18
41.68	Carvacrol	972	973	65.15
<b>Toplam</b>				<b>99.45</b>

\*Tabloda oranları 0.05 ve altı olan bileşenler dikkate alınmamıştır.

SI: Kütüphane spektrumu için eşleştirme faktörü.

RSI: Kütüphane spektrumu için ters eşleştirme faktörü.

RT: Alınma zamanı.

Bu çalışmada Hatay florasından elde edilen *T. spicata* L. bitkisinin uçucu yağ oranı ile uçucu yağ bileşenleri tespit edilmiştir. Uçucu yağ verimi ve uçucu yağ bileşenlerinin önceki çalışmalarla benzerlik gösterdiği belirlenmiştir. (Müller-Riebau ve ark., 1997; Hancı ve ark., 2003; Baydar ve ark., 2004; Kılıç, 2006; Ünlü ve ark., 2009; Kızıllı, 2010; Markovic ve ark., 2011; Kaya ve ark., 2013). Uçucu yağ carvacrol oranları açısından incelendiğinde Hatay florasında Mavi ve ark., (2020) yaptığı çalışma ile benzerlik gösterdiği tespit edilmiştir.

### 4. Sonuç

Ülkemizin önemli tıbbi ve aromatik bitkieri arasında yer alan zahter ile ilgili fazla çalışma bulunmaması, bu çalışmada belirlenen değerlerin ileride yapılacak olan araştırma ve çalışmalara destek olabileceği düşünülmektedir. Günümüzde tıbbi ve aromatik bitkiler ve geleneksel ürünlere olan ilgi önemli ölçüde artış göstermektedir. Ülkemizde Gaziantep, Kilis ve Hatay başta olmak üzere kahvaltılık, baharat ve çeşitli hastalıkların tedavisinde kullanılan zahterin uygun ortam ve koşullarda bilinçli bir şekilde yetiştirilmesiyle gerek iç gerekse dış ticaretimizde katma değer açısından önemli bir yeri olabileceği düşünülmektedir.

### Kaynakça

- Akdoğan, M., Kişioğlu, A. N., Ciriş, M., Koyu, A. (2014). Investigating the effectiveness of different tea types from various thyme kinds (*Origanum onites*, *Thymbra spicata* and *Satureja cuneifolia*) on anemia and anticholesterolemic activity. *Toxicology and Industrial Health*, 30(10), 938-949.
- Asil, H. (2021). Farklı depolama sürelerinin safranin (*Crocus sativus* L.) farmakolojik ajanlarına (Safranal, Crocin ve Crocetin) etkisi ve kalite özellikleri bakımından değerlendirilmesi. *Celal Bayar Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 8(2), 263-269. DOI: 10.34087/cbusbed.804112
- Atasever, M., Yılmaz, Ş., Ertekin, İ. (2020). Ekim zamanının Amik Ovası koşullarında yetiştirilen bazı mısır (*Zea mays* L.) çeşitlerinde ot verimi ve kalitesine etkisi. *Mustafa Kemal Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 25(3): 326-340.
- Başer, K.H.C. (1993). Essential oils of anatolian labiateae: A Profile. *Acta Horticulturae*, 333: 217-237.
- Başer, K.H.C. (1994). Essential oils of labiateae from Turkey: recent results. *Lamiales Newsletter* 3, 6-11.
- Başer, K.H.C. (2002). Oregano, profile of the multifaceted prince of the herbs. *Taylor and Francis*, Editor: Kintzios Spiridon E., 1, pp: 281, New York.
- Baydar, H. (2005). Yayla kekiği (*Origanum minutiflorum* O. Schwarz et. P.H. Davis)'nde farklı toplama zamanlarının uçucu yağ içeriği ve uçucu yağ bileşenleri üzerine etkisi. *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 18(2):175-178.
- Baydar, H., ve Arabacı, O. (2013, Eylül). Türkiye'nin kekik üretim merkezi olan Denizli'de kültür kekiğinin (*Origanum onites* L.) tarımsal ve teknolojik özellikleri. *Türkiye 10. Tarla Bitkileri Kongresi*, Konya.
- Baydar, H., Sağdıç, O., Özkan, G., Karadogan, T. (2004) Antibacterial activity and composition of essential oils from

- Origanum*, *Thymbra* and *Satureja* species with commercial importance in Turkey, *Food Control*, 15, 169-172.
- Baytop, T. (1999) *Türkiye’de bitkilerle tedavi - geçmişte ve bugün*. İstanbul: Nobel Tıp Kitabevleri, İlaveli II. Baskı.
- Davis, P. H. (1982) *Flora of Turkey and East Aegean Islands, Volume Seven*. Edinburgh: Edinburg University Press.
- Ertekin, İ., Atış, İ., Yılmaz, Ş. (2020). Bazı fiğ türlerinin yem verim ve kalitesi üzerine farklı organik gübrelerin etkisi. *Mustafa Kemal Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 25(2): 243-255.
- Ertekin, İ., ve Çakmakçı, S. (2020). Effect of different rates of bacteria (*Rhizobium leguminosarum*) inoculated in seed on yield and some quality parameters of common vetch (*Vicia sativa* L.). *KSU Journal of Agriculture and Nature*, 23(2): 343-349.
- Hancı, S., Şahin, S., Yılmaz, L. (2003) Isolation of volatile oil from thyme (*Thymbra spicata*) by steam distillation, *Nahrung/Food*, 47(4), 252-255.
- Kara, M., Soylu, S., Türkmen, M., Kaya, D. A. (2020). Determination and antifungal activities of laurel and fennel essential oils against fungal disease agents of cypress seedlings. *Journal of Tekirdag Agricultural Faculty*, 17(2).
- Kaya, D. A., Arslan, M., İnan, M., Başkaya, S. (2013) Diurnal changes on content and composition of *Thymbra spicata* L. essential oil, *Research Journal of Biological Sciences*, 8(1), 6-10.
- Kılıç, T. (2006) Analysis of Essential Oil Composition of *Thymbra spicata* var. *spicata*: antifungal, antibacterial and antimycobacterial activities. *Verlag der Zeitschrift für Naturforschung*, 61c, 324-328.
- Kızıl, S. (2010). Determination of essential oil variations of *Thymbra spicata* var. *spicata* L. naturally growing in the wild flora of East Mediterranean and Southeastern Anatolia regions of Turkey. *Industrial Crops and Products* 32 (2010) 593-600.
- Kintzios, S.E. (2002). The biotechnology of oregano (*Origanum* sp. and *Lippia* sp.). In: Kintzios SE (ed) medicinal and aromatic plants-industrial profiles, *Oregano. The genera origanum and Lippia, vol 25. Taylor and Francis*, London.
- Kuzucu, M. (2017). Effects of water harvesting techniques and using humic acid on soil moisture plant evaporation, growth and yield in pistachio orchards in southeastern of Turkey. *Fresenius Environmental Bulletin*, 26 (12), 7521-7528.
- Kuzucu, M. (2019). Effects of organic fertilizer application on yield, soil organic matter and porosity on kilis oil olive variety under arid conditions. *Eurasian Journal of Forest Science*, 7 (1), 77-83 . DOI: 10.31195/ejejfs.511098
- Markovic, T., Chatzopoulou, P., Siljegovic, J., Nikolic, M., Glamoclija, J., Ciric, A., Soković, M. (2011) Chemical analysis and antimicrobial activities of the essential oils of *Satureja thymbra* L. and *Thymbra spicata* L. and their main components. *Archives of Biological Sciences*, 63(2), 457-464.
- Mavi, K., Kaya, D.A., Türkmen, M., Ayanoglu, F. (2020) The variation of essential oil and carvacrol contents of native grown *Thymbra spicata* var. *spicata* L. *ICAMS 2020-8 th International Conference on Advanced Materials and Systems*, 213-218.
- Müller-Riebau, F. J., Berger, B. M., Yeğen, O., Çakır, C. (1997) Seasonal variations in the chemical compositions of essential oils of selected aromatic plants growing wild in Turkey, *J. Agric. Food Chem.*, 45, 4821-4825.
- Satıl F., Dirmeni, T., Tumen, G. (2002, Mayıs). Türkiye’deki *Satureja* L. türlerinin ticareti ve doğadaki durumu. 14. *Bitkisel İlaç Hammaddeleri Toplantısı*, Bildirileri, Eskişehir.
- Soylu, S., Kara, M., Soylu, E. M., Kurt, Ş., Uysal, A., Türkmen, M. (2020, Nisan). Isolation and identification of beneficial bacterial endophytes isolated from *Laurus nobilis* L. growing in Hatay province of Turkey. *The Sixth International Mediterranean Symposium on Medicinal and Aromatic Plants*, İzmir.
- Şekeroğlu, N. (2008). Kilis ve yöresinde halk ilacı ve baharat olarak kullanılan bitkiler. *Zeytindalı, Kilis Kültür Derneği Kilis Şubesi Yayını*, 51: 6-11.
- Şekeroğlu, N. (2010) Unutulmuş tadlar, kurban olduğum zahter. *TAZAR Kültür Sanat Yaşam Dergisi*, 73, Nisan-Mayıs.
- Tarım ve Orman Bakanlığı, Kekik Fizibilite Raporu ve Yatırımcı Rehberi. *Tarım ve Orman Bakanlığı Eğitim ve Yayın Dairesi Başkanlığı Sayfa:26-27*
- Taşgın, S., ve Asil, H. (2021). Endemik amanos sığır kuyruğu (*Verbascum amatum* BOISS) ve Belen sığır kuyruğunun (*Verbascum caesareum*) tıbbi özellikleri. *Biyolojik Çeşitlilik ve Koruma*, 14 (1), 40-44. DOI: 10.46309/biodicon.2021.851353
- The Plant List, *Thymbra spicata* L., (2021). <http://www.theplantlist.org/tpl1.1/record/kew-204350> (Erişim tarihi: 23/06/2021)
- Trumpy S. (2012). “Herbs market report”. *11. World Spice Congress*, Maharashtra, India.
- Tunca H., ve Yeşilyurt, M.E. (2017). Türkiye ve Dünya’da kekik. *DTB Raporu*, Denizli.
- Türkmen, M. (2021). The effect of different phenological periods and harvest times on the essential oil ratio and components of basil genotypes. *J. Essent. Oil-Bear. Plants*, 24, 94-109. DOI: 10.1080/0972060X.2021.1894243
- Türkmen, M., ve Mert, A. (2020). Farklı azot dozlarının kişniş (*Coriandrum sativum* L.) yaş herba uçucu yağ bileşenleri üzerine etkisi. *Mustafa Kemal Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 25 (3), 309-315. DOI: 10.37908/mkutbd.731874
- United Nations, Economic and Social Commission for Western Asia (ESCWA), Best Practices and Tools for Increasing Productivity and Competitiveness in the Production Sectors: *Assessment of Zaatar Productivity and Competitiveness in Lebanon*, E7ESCWA/SDPD/2010/ Technical Paper.3, New York, 2010.
- Ünlü, M., Vardar-Ünlü, G., Vural, N., Dönmez, E., Özbaş, Z. Y. (2009). Chemical composition, antibacterial and antifungal activity of the essential oil of *Thymbra spicata* L. from Turkey, *Natural Product Research: Formerly Natural Product Letters*, 23(6), 572-579.
- Yipel, M., Emiroğlu, S.B., Türkmen, M., Türk, E., İlhan, A., Kırgız, F.C., Tekeli, İ.O. (2021). Veteriner fitoterapi ve etnoveteriner hekimlikte de kullanılan *Thymbra spicata* L., *Rosmarinus officinalis* L. ve *Laurus nobilis* L. bitkilerinin kimyasal içeriklerinin belirlenmesi, *Erciyes Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi* 18(1): 31-40.



# Investigating Spherical Images of a Curve According to Type-1 Bishop Frame in Weyl Space Using Prolonged Covariant Derivative

Nil Kofoglu<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> Department of Software Engineering, Faculty of Engineering and Architecture, Beykent University, 34398, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0003-4361-3555),  
[nilkofoglu@beykent.edu.tr](mailto:nilkofoglu@beykent.edu.tr)

(First received 7 July 2021 and in final form 13 September 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.963679)

**ATIF/REFERENCE:** Kofoglu, N. (2021). Investigating Spherical Images of a Curve According to Type-1 Bishop Frame in Weyl Space Using Prolonged Covariant Derivative. *European Journal of Science and Technology*, (27), 450-458.

## Abstract

In this study, we investigated spherical images of a curve according to type-1 Bishop frame in three dimensional Weyl space. Further, we expressed the relations among Frenet-Serret and type-1 Bishop frame apparatus. We defined the concepts of general helix, slant helix, spherical curve and also circle by using prolonged covariant derivative in Weyl space. Later, provided that these spherical images satisfy the above definitions, the conditions obtained were expressed in terms of first and second curvatures and hence Bishop curvatures. Additionally, parallel displacement condition of the binormal vector fields of the  $\eta_1$  and  $\eta_2$  Bishop spherical images of a curve along their own tangent vector fields was discussed.

**Keywords:** Weyl space, General helix, Slant helix, Spherical curve, Spherical image.

## Prolonged Kovaryant Türevi Kullanarak Weyl uzayındaki Bir Eğrinin Tip-1 Bishop Çatısına Göre Küresel Resimlerinin İncelenmesi

### Öz

Bu çalışmada, Weyl uzayındaki bir eğrinin tip-1 Bishop çatısına göre küresel resimlerini inceledik. Ayrıca, Frenet-Serret ve tip-1 Bishop çatı aparatları arasındaki bağıntıları ifade ettik. Prolonged kovaryant türevi kullanarak, Weyl uzayında genel helis, slant helis, küresel eğri ve ayrıca çember kavramlarını tanımladık. Daha sonra, bu küresel resimlerin yukarıdaki tanımları sağlaması halinde, elde edilen şartlar birinci ve ikinci eğrilikler ve dolayısıyla Bishop eğrilikleri cinsinden ifade edildi. Bunlara ek olarak, bir eğrinin  $\eta_1$  ve  $\eta_2$  Bishop küresel resimlerinin binormal vektör alanlarının kendi teğet vektör alanları boyunca paralel kayma şartı ele alındı.

**Anahtar Kelimeler:** Weyl uzayı, Genel helis, Slant helis, Küresel eğri, Küresel resim.

\* Corresponding Author: [nilkofoglu@beykent.edu.tr](mailto:nilkofoglu@beykent.edu.tr)

### 1. Introduction

Bishop frame (or type-1 Bishop frame) was introduced by Bishop (1975). This frame was also named as alternative or parallel frame of the curves. Many researchers used Bishop frame in several spaces, such as Bükçü and Karacan (2008a and 2009), Yılmaz et al. (2010; in Euclidean space), Bükçü and Karacan (2008b; in Lorentzian space), Karacan and Bükçü (2007 and 2008), Yılmaz (2009; in Minkowski 3-space) and Kofoğlu (2020; in Weyl space).

### 2. Preliminaries

Let  $C: x^i = x^i(s)$  ( $s$  is the arc length parameter of  $C$ ) be a curve in three dimensional Weyl space  $W_3$  ( $i = 1,2,3$ ). Let us denote Frenet-Serret frame and Bishop (or type-1 Bishop) frame belonging to  $C$  by  $\{v, v_2, v_3\}$  and  $\{v, n_1, n_2\}$ , respectively. Both of these frames are orthonormal bases.

Frenet-Serret formulas are expressed as

$$\begin{aligned} v^k \nabla_k v_1^i &= \kappa_1 v_2^i \\ v^k \nabla_k v_2^i &= -\kappa_1 v_1^i + \kappa_2 v_3^i \\ v^k \nabla_k v_3^i &= -\kappa_2 v_2^i \end{aligned} \tag{1}$$

where  $\kappa_1$  and  $\kappa_2$  are the first and second curvatures of  $C$ , respectively.

Derivative formulas of the vector fields of Bishop frame are in the following form:

$$\begin{aligned} v^k \nabla_k v_1^i &= k_1 n_1^i + k_2 n_2^i \\ v^k \nabla_k n_1^i &= -k_1 v_1^i \\ v^k \nabla_k n_2^i &= -k_2 v_1^i \end{aligned} \tag{2}$$

Here,  $k_1$  and  $k_2$  are Bishop curvatures (Bishop, 1975). Their equivalents in Weyl space (Kofoğlu, 2020) are

$$k_1 = T_{1k}^p v_1^k v_1^i n_1^j g_{ij} \quad (j, k, p = 1, 2, 3) \tag{3}$$

or

$$k_1 = \mathcal{Z} v_1^i n_1^j g_{ij} = c_{11}^i n_1^j g_{ij} \tag{4}$$

and

$$k_2 = T_{1k}^p v_1^k v_2^i n_2^j g_{ij} \tag{5}$$

or

$$k_2 = \mathcal{Z} v_2^i n_2^j g_{ij} = c_{22}^i n_2^j g_{ij} \tag{6}$$

where,  $\mathcal{Z} = T_{1k}^p v_1^k$  is geodesic curvature of the net  $(v_1, v_2, v_3)$  (Tsareva, 1990) and  $c_{11}^i = \mathcal{Z} v_1^i$  is the geodesic curvature vector field of the net  $(v_1, v_2, v_3)$  (Tsareva, 1990).

Also,  $k_1 = \kappa_1 \cos\theta$ ,  $k_2 = \kappa_1 \sin\theta$ ,  $\kappa_1^2 = k_1^2 + k_2^2$  and  $\kappa_2 = v^k \nabla_k \theta$  ( $\theta = \theta(s)$ ) where  $\theta = \angle(v_2^i, n_1^i)$  (Kofoğlu, 2020).

There is the following relation among the vector fields of these two frames (Kofoğlu, 2020):

$$\begin{pmatrix} v_1^i \\ v_2^i \\ v_3^i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\theta & \sin\theta \\ 0 & -\sin\theta & \cos\theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v_1^i \\ n_1^i \\ n_2^i \end{pmatrix} \tag{7}$$

### 3. The Expression of Special Curves in Weyl Space

**Definition 1.** Let  $C$  be a curve in three dimensional Weyl space.  $C$  is called a general helix if the tangent vector field  $v$  of  $C$  has constant angle  $\varphi$  with some fixed vector field  $u$ , i.e.,

$$g_{ij} v^i u^j = \cos\varphi = \text{constant}$$

where  $g_{ij} u^i u^j = 1$ .

Using Şemin (1983), we can express the condition to be a general helix in the following form:

**Theorem 1.**  $C$  is a general helix if and only if

$$\frac{\kappa_2}{\kappa_1} = \text{constant}$$

where  $\kappa_1$  and  $\kappa_2$  are the first and second curvatures of  $C$ .

With the help of Izumiya and Takeuchi (2004) and Kula et al. (2010) and using prolonged covariant derivative, the following proposition can be given:

**Proposition 1.** If  $C$  is a slant helix,

$$\frac{\kappa_1^2}{(\kappa_1^2 + \kappa_2^2)^{3/2}} \left( v^k \nabla_k \frac{\kappa_2}{\kappa_1} \right) = \text{constant}$$

is satisfied.

**Proof.** Let  $C$  be a slant helix. Then  $C$  is a curve with  $\kappa_1 \neq 0$  and  $\left( v^k \nabla_k \frac{\kappa_2}{\kappa_1} \right)$  is a constant function.

Let  $\bar{C}: y^i = y^i(\bar{s})$  be the spherical image of principal normal vector field  $v$  of  $C$  ( $\bar{s}$  is the arc length parameter of  $\bar{C}$ ). Then, using Frenet frame the following equalities are satisfied:

$$\begin{aligned} v^k \nabla_k y^i &= v^k \nabla_k v_2^i \\ \left( \bar{v}^k \nabla_k y^i \right) a &= -\kappa_1 v_1^i + \kappa_2 v_3^i \\ \bar{v}_1^i &= -\frac{\kappa_1}{\sqrt{\kappa_1^2 + \kappa_2^2}} v_1^i + \frac{\kappa_2}{\sqrt{\kappa_1^2 + \kappa_2^2}} v_3^i \end{aligned} \tag{8}$$



where  $\bar{v}$  is the tangent vector field of  $\bar{C}$  and  $a = a(s) = \frac{1}{\sqrt{\kappa_1^2 + \kappa_2^2}}$ .

The prolonged covariant derivative of  $\bar{v}_1^i$  in the direction of  $v$  is

$$\begin{aligned} v_1^k \nabla_k \bar{v}_1^i &= (\bar{v}_1^k \nabla_k \bar{v}_1^i) a \\ \bar{v}_1^k \nabla_k \bar{v}_1^i &= \bar{\kappa}_1 \bar{v}_1^i = \bar{c}_1^i \\ &= \frac{\kappa_2 \kappa_1^2}{(\kappa_1^2 + \kappa_2^2)^2} \left( v_1^k \nabla_k \frac{\kappa_2}{\kappa_1} \right) v_1^i \\ &\quad + \frac{\kappa_1^3}{(\kappa_1^2 + \kappa_2^2)^2} \left( v_1^k \nabla_k \frac{\kappa_2}{\kappa_1} \right) v_3^i - v_2^i \end{aligned} \tag{9}$$

where  $\bar{\kappa}_1$  is the first curvature of  $\bar{C}$ ,  $\bar{v}_2$  is the principal normal vector field of  $\bar{C}$  and  $\bar{c}_1^i$  is the geodesic curvature vector field of the net  $(\bar{v}, \bar{v}_2, \bar{v}_3)$ .

The geodesic curvature of the spherical image of the principal normal vector field of  $v$  is

$$\kappa_g^2 = g_{ij} \bar{c}_1^i \bar{c}_1^j = \bar{\kappa}_1^2 = \left[ v_1^k \nabla_k \frac{\kappa_2}{\kappa_1} \right]^2 \frac{\kappa_1^4}{(\kappa_1^2 + \kappa_2^2)^3} + 1. \tag{10}$$

Let us denote the first term of in the right hand side of the above equality by  $\sigma^2$ . Then, we get

$$\bar{\kappa}_1^2 = \sigma^2 + 1. \tag{11}$$

Since the spherical image of the principal normal vector field  $v$  is a part of a circle in  $S^2$ ,  $\bar{\kappa}_1$  must be non-zero constant and so

$$\sigma^2 = \left[ v_1^k \nabla_k \frac{\kappa_2}{\kappa_1} \right]^2 \frac{\kappa_1^4}{(\kappa_1^2 + \kappa_2^2)^3}$$

or

$$\sigma = \left( v_1^k \nabla_k \frac{\kappa_2}{\kappa_1} \right) \frac{\kappa_1^2}{(\kappa_1^2 + \kappa_2^2)^{3/2}} \tag{12}$$

is a constant function.

Here  $\kappa_1 = g_{ij} \left( v_1^k \nabla_k v_1^i \right) v_2^j = \frac{2}{1}$  and  $\kappa_1 = g_{ij} \left( v_1^k \nabla_k v_3^i \right) v_2^j = -\frac{2}{31}$ .  $\square$

Further, by means of Kofoglu (2020), the following theorem is valid:

**Theorem 2.** Let  $C$  be a curve which has non-zero Bishop curvatures in  $W_3$ .  $C$  is a slant helix if and only if  $\frac{\kappa_1}{\kappa_2}$  is constant.

Using Şemin (1983), we can write the following proposition:

**Proposition 2.** If  $C$  is a spherical curve,

$$\frac{\kappa_2}{\kappa_1} + v_1^l \nabla_l \left[ \frac{1}{\kappa_2} \left( v_1^k \nabla_k \frac{1}{\kappa_1} \right) \right] = 0 \quad (l = 1, 2, 3)$$

is satisfied.

**Proof.** Let  $C$  be a spherical curve. If we choose center of the sphere as origin, the position vector at any point of  $C$  satisfies the following relation:

$$[g_{ij} x^i x^j]^2 = R^2. \tag{13}$$

Here  $R$  is the radius of the sphere and it is constant.

Taking prolonged covariant derivative of  $g_{ij} x^i x^j = R$  in the direction of  $v$ , we get

$$g_{ij} v_1^i x^j = 0 \tag{14}$$

where  $v_1$  is the tangent vector field of  $C$ .

Taking prolonged covariant derivative of (14) in the direction of  $v_1$ , we have

$$\begin{aligned} g_{ij} \left( v_1^k \nabla_k v_1^i \right) x^j + 1 &= 0 \\ g_{ij} \kappa_1 v_2^i x^j + 1 &= 0 \\ g_{ij} v_2^i x^j &= -\frac{1}{\kappa_1} \end{aligned} \tag{15}$$

where  $g_{ij} v_1^i v_1^j = 1$ ,  $v_2$  is the principal normal vector field of  $C$  and  $\kappa_1$  is the first curvature of  $C$ .

Taking prolonged covariant derivative of (15) in the direction of  $v_1$ , we obtain

$$\begin{aligned} -\kappa_2 g_{ij} v_3^i x^j &= v_1^k \nabla_k \frac{1}{\kappa_1} \\ -g_{ij} v_3^i x^j &= \frac{1}{\kappa_2} v_1^k \nabla_k \frac{1}{\kappa_1} \end{aligned} \tag{16}$$

where  $v_3$  is the binormal vector field of  $C$ ,  $\kappa_2$  is the second curvature of  $C$ ,  $g_{ij} v_2^i v_2^j = 0$  and  $g_{ij} v_1^i v_3^j = 0$ .

Again taking prolonged covariant derivative of (16) in the direction of  $v_1$ , we have

$$\kappa_2 g_{ij} v_2^i x^j = v_1^l \nabla_l \left( \frac{1}{\kappa_2} v_1^k \nabla_k \frac{1}{\kappa_1} \right) \tag{17}$$

where  $g_{ij} v_3^i v_3^j = 0$ .

Using (15) in (17), we get

$$\frac{\kappa_2}{\kappa_1} + v_1^l \nabla_l \left( \frac{1}{\kappa_2} v_1^k \nabla_k \frac{1}{\kappa_1} \right) = 0 \tag{18}$$

which concludes the proof.  $\square$

With the help of Nomizu and Yano (1974) and Özdeğer and Şentürk (2002), the following definition and proposition can be formulated:

**Definition 2.**  $C$  is called a circle if there exists a vector field  $z^i$  and a positive constant  $k$  such that

$$\begin{aligned} v^k \dot{\nabla}_k v^i &= kz^i \\ v^k \dot{\nabla}_k z^i &= -kv^i \end{aligned}$$

where  $g_{ij}z^i z^j = 1$ .

**Proposition 3.** If  $C$  is a circle, the equation

$$v^l \dot{\nabla}_l (v^k \dot{\nabla}_k v^i) + g_{ij} (v^k \dot{\nabla}_k v^i) (v^k \dot{\nabla}_k v^j) v^i = 0$$

is satisfied. Conversely, if  $C$  satisfies the above equation,  $C$  is either a geodesic or a circle.

### 4. About The Spherical Images of a Curve in Weyl Space

**Definition 3.** Let  $C$  be a curve in  $W_3$ . If we translate the first vector field of type-1 Bishop frame to the center  $O$  of the unit sphere  $S^2$ , we obtain a spherical image  $\bar{C} : u^i = u^i(\bar{s})$  ( $\bar{s}$  is the arc length parameter of  $\bar{C}$ ).  $\bar{C}$  is called tangent Bishop spherical image or indicatrix of the curve  $C$ .

In order to investigate the relations between type-1 Bishop and Frenet-Serret invariants we take the prolonged covariant derivative of  $u^i$  in the direction of  $v$ , we have

$$v^k \dot{\nabla}_k u^i = k_1 n_1^i + k_2 n_2^i \tag{19}$$

$$(\bar{v}^k \dot{\nabla}_k u^i) a = k_1 n_1^i + k_2 n_2^i \tag{20}$$

$$\bar{v}^i a = k_1 n_1^i + k_2 n_2^i \tag{21}$$

where  $\bar{v}^i$  is the tangent vector field of  $\bar{C}$ ,  $g_{ij} \bar{v}^i \bar{v}^j = 1$  and  $a = a(s)$ .

Taking the norm of both sides of (21), we get

$$a = \mp \sqrt{k_1^2 + k_2^2}. \tag{22}$$

Let us take  $a = \sqrt{k_1^2 + k_2^2}$ . Hence, we obtain

$$\bar{v}^i = \frac{k_1}{\sqrt{k_1^2 + k_2^2}} n_1^i + \frac{k_2}{\sqrt{k_1^2 + k_2^2}} n_2^i \tag{23}$$

where  $k_1 = g_{ij} c^i n^j$  and  $k_2 = g_{ij} c^i n^j$ .

Taking the prolonged covariant derivative of (23) in the direction of  $v$ , we have

$$\begin{aligned} v^k \dot{\nabla}_k \bar{v}^i &= (\bar{v}^k \dot{\nabla}_k \bar{v}^i) a \\ &= \frac{k_2^3}{(k_1^2 + k_2^2)^{3/2}} (v^k \dot{\nabla}_k \frac{k_1}{k_2}) n_1^i \\ &+ \frac{k_1^3}{(k_1^2 + k_2^2)^{3/2}} (v^k \dot{\nabla}_k \frac{k_2}{k_1}) n_2^i \\ &- \sqrt{k_1^2 + k_2^2} v^i \end{aligned} \tag{24}$$

and

$$\begin{aligned} \bar{\kappa}_1 \bar{v}^i &= \frac{k_2^3}{(k_1^2 + k_2^2)^2} (v^k \dot{\nabla}_k \frac{k_1}{k_2}) n_1^i \\ &+ \frac{k_1^3}{(k_1^2 + k_2^2)^2} (v^k \dot{\nabla}_k \frac{k_2}{k_1}) n_2^i - v^i \end{aligned} \tag{25}$$

where  $k_1 = g_{ij} c^i n^j$  and  $k_2 = g_{ij} c^i n^j$ .

Taking the norm of both sides of (25), we get

$$\begin{aligned} \bar{\kappa}_1 &= \left( \left[ \frac{k_2^3}{(k_1^2 + k_2^2)^2} (v^k \dot{\nabla}_k \frac{k_1}{k_2}) \right]^2 \right. \\ &\left. + \left[ \frac{k_1^3}{(k_1^2 + k_2^2)^2} (v^k \dot{\nabla}_k \frac{k_2}{k_1}) \right]^2 + 1 \right)^{1/2} \end{aligned} \tag{26}$$

and from (24) and (26)

$$\begin{aligned} \bar{v}_2^i &= \frac{1}{\bar{\kappa}_1} \frac{k_2^3}{(k_1^2 + k_2^2)^2} (v^k \dot{\nabla}_k \frac{k_1}{k_2}) n_1^i \\ &+ \frac{1}{\bar{\kappa}_1} \frac{k_1^3}{(k_1^2 + k_2^2)^2} (v^k \dot{\nabla}_k \frac{k_2}{k_1}) n_2^i - \frac{1}{\bar{\kappa}_1} v^i \end{aligned} \tag{27}$$

where  $\bar{\kappa}_1$  is the first curvature of  $\bar{C}$ ,  $\bar{v}_2^i$  is the principal vector field of  $\bar{C}$ ,  $g_{ij} \bar{v}_2^i \bar{v}_2^j = 1$ ,  $k_1 = g_{ij} c^i n^j$  and  $k_2 = g_{ij} c^i n^j$ .

We know that

$$\bar{v}_3^i = \epsilon_{ijk} \bar{v}_1^j \bar{v}_2^k. \tag{28}$$

Using (23) and (27) in (28), we obtain

$$\begin{aligned} \bar{v}_3^i &= \frac{1}{\bar{\kappa}_1} \left\{ \left[ \frac{k_1^4}{(k_1^2 + k_2^2)^{5/2}} (v^k \dot{\nabla}_k \frac{k_2}{k_1}) \right. \right. \\ &- \frac{k_2^4}{(k_1^2 + k_2^2)^{5/2}} (v^k \dot{\nabla}_k \frac{k_1}{k_2}) \left. \right] v_1^i \\ &- \frac{k_2}{\sqrt{k_1^2 + k_2^2}} n_1^i + \frac{k_1}{\sqrt{k_1^2 + k_2^2}} n_2^i \left. \right\} \end{aligned} \tag{29}$$

where  $k_1 = g_{ij} c^i n^j$  and  $k_2 = g_{ij} c^i n^j$ .

Taking the prolonged covariant derivative of (29) in the direction of  $v$  and multiplying this expression by  $g_{ij} \bar{v}_2^j$ , we get

$$\begin{aligned} \bar{\kappa}_2 &= \frac{1}{(k_1^2 + k_2^2)^3 + [k_1^2 v^k \dot{\nabla}_k \frac{k_2}{k_1}]^2} \\ &\{ [v^l \dot{\nabla}_l (v^k \dot{\nabla}_k k_2)] k_1 (k_1^2 + k_2^2) \\ &- [v^l \dot{\nabla}_l (v^k \dot{\nabla}_k k_1)] k_2 (k_1^2 + k_2^2) \\ &- 3k_1^2 (v^k \dot{\nabla}_k k_1) (v^k \dot{\nabla}_k k_2) \\ &+ 3k_1 k_2 (v^k \dot{\nabla}_k k_1) (v^k \dot{\nabla}_k k_1) \\ &- 3k_1 k_2 (v^k \dot{\nabla}_k k_2) (v^k \dot{\nabla}_k k_2) \end{aligned} \tag{30}$$

$$+3k_2^2 \left( v^k \dot{\nabla}_k k_1 \right) \left( v^k \dot{\nabla}_k k_2 \right) \Big\}$$

where  $\bar{\kappa}_2$  is the second curvature of  $\bar{C}$  and  $g_{ij} \bar{v}^i \bar{v}^j = 1$ ,  $k_1 = g_{ij} c^i n^j$  and  $k_2 = g_{ij} c^i n^j$ .

**Corollary 1.** Let  $\bar{C}$  be the tangent Bishop spherical image of  $C$ . If  $\frac{k_1}{k_2} = constant$ , then the tangent Bishop spherical image  $u^i = u^i(\bar{s})$  is a circle.

**Proof.** If we use Proposition 3, we have

$$\begin{aligned} & v^l \dot{\nabla}_l \left( v^k \dot{\nabla}_k \bar{v}^i \right) \\ &= \left[ v^l \dot{\nabla}_l \frac{k_2^3}{(k_1^2 + k_2^2)^{3/2}} \right] \left( v^k \dot{\nabla}_k \frac{k_1}{k_2} \right) n^i_1 \\ &+ \frac{k_2^3}{(k_1^2 + k_2^2)^{3/2}} \left[ v^l \dot{\nabla}_l \left( v^k \dot{\nabla}_k \frac{k_1}{k_2} \right) \right] n^i_1 \\ &- \left[ v^l \dot{\nabla}_l \frac{k_1 k_2^2}{(k_1^2 + k_2^2)^{3/2}} \right] \left( v^k \dot{\nabla}_k \frac{k_1}{k_2} \right) n^i_2 \\ &- \frac{k_1 k_2^2}{(k_1^2 + k_2^2)^{3/2}} v^l \dot{\nabla}_l \left( v^k \dot{\nabla}_k \frac{k_1}{k_2} \right) n^i_2 \\ &- \frac{1}{\sqrt{k_1^2 + k_2^2}} \\ &\left\{ k_2 \left( v^l \dot{\nabla}_l k_2 \right) \frac{(k_1^2 + k_2^2)}{k_2^2} + k_2 k_1 \left( v^l \dot{\nabla}_l \frac{k_1}{k_2} \right) \right\} v^i_1 \\ &- \sqrt{k_1^2 + k_2^2} (k_1 n^i_1 + k_2 n^i_2) \end{aligned} \tag{31}$$

and

$$\begin{aligned} & g_{ij} \left( v^k \dot{\nabla}_k \bar{v}^i \right) \left( v^k \dot{\nabla}_k \bar{v}^j \right) \bar{v}^i \\ &= \left\{ k_2^4 \frac{1}{(k_1^2 + k_2^2)^2} \left[ v^k \dot{\nabla}_k \frac{k_1}{k_2} \right]^2 + (k_1^2 + k_2^2) \right\} \bar{v}^i_1 \end{aligned} \tag{32}$$

where  $k_1 = g_{ij} c^i n^j$  and  $k_2 = g_{ij} c^i n^j$ .

Under the condition  $\frac{k_1}{k_2} = constant$ , using (31) and (32), we obtain

$$v^l \dot{\nabla}_l \left( v^k \dot{\nabla}_k \bar{v}^i \right) + g_{ij} \left( v^k \dot{\nabla}_k \bar{v}^i \right) \left( v^k \dot{\nabla}_k \bar{v}^j \right) \bar{v}^i = 0. \tag{33}$$

Hence, we see that, the tangent Bishop spherical image  $u^i = u^i(\bar{s})$  of  $C$  is a circle. □

**Definition 4.** Let  $C$  be a curve in  $W_3$ . If we translate the second vector field of type-1 Bishop frame to the center  $O$  of the unit sphere  $S^2$ , we obtain a spherical image  $\bar{F} : f^i = f^i(\bar{s})$  ( $\bar{s}$  is the arc length parameter of  $\bar{F}$ ).  $\bar{F}$  is called  $n_1$  Bishop spherical image or indicatrix of the curve  $C$ .

The relations between type-1 Bishop and Frenet-Serret invariants are obtained by taking the prolonged covariant derivative of  $f^i$  in the direction of  $v_1$ , we have

$$v^k \dot{\nabla}_k f^i = -k_1 v^i_1 \tag{34}$$

$$\left( \bar{v}^k \dot{\nabla}_k f^i \right) b = -k_1 v^i_1 \tag{35}$$

$$\bar{v}^i b = -k_1 v^i_1 \tag{36}$$

where  $\bar{v}_1^i$  is the tangent vector field of  $\bar{F}$ ,  $g_{ij} \bar{v}_1^i \bar{v}_1^j = 1$  and  $b = b(s)$ .

Taking the norm of both sides of (36), we get

$$b = \mp k_1. \tag{37}$$

Let us take  $b = -k_1$ . In this case, we obtain

$$\bar{v}_1^i = v^i_1. \tag{38}$$

Taking the prolonged covariant derivative of (38) in the direction of  $v_1$ , we have

$$v^k \dot{\nabla}_k \bar{v}_1^i = \left( \bar{v}^k \dot{\nabla}_k \bar{v}_1^i \right) b = v^k \dot{\nabla}_k v^i_1 \tag{39}$$

$$\bar{M}_1 \bar{v}_2^i (-k_1) = k_1 n^i_1 + k_2 n^i_2 \tag{40}$$

$$\bar{M}_1 \bar{v}_2^i = -n^i_1 - \frac{k_2}{k_1} n^i_2. \tag{41}$$

Taking the norm of both sides of (41), we get

$$\bar{M}_1 = \sqrt{1 + \left( \frac{k_2}{k_1} \right)^2} = \sqrt{1 + \left( \frac{g_{ij} c^i n^j}{g_{ij} c^i n^j} \right)^2} \tag{42}$$

and

$$\bar{v}_2^i = -\frac{1}{\bar{M}_1} n^i_1 - \frac{1}{\bar{M}_1} \frac{k_2}{k_1} n^i_2 \tag{43}$$

where  $\bar{v}_2^i$  is the principal normal vector field of  $\bar{F}$ ,  $g_{ij} \bar{v}_2^i \bar{v}_2^j = 1$  and  $\bar{M}_1$  is the first curvature of  $\bar{F}$ .

$\bar{v}_3^i$  is the binormal vector field of  $\bar{F}$  and it is defined in the form:

$$\bar{v}_3^i = \epsilon_{ijk} \bar{v}_1^j \bar{v}_2^k. \tag{44}$$

If (38) and (43) are used in (44), we have

$$\bar{v}_3^i = -\frac{1}{\bar{M}_1} n^i_2 + \frac{1}{\bar{M}_1} \frac{k_2}{k_1} n^i_1 \tag{45}$$

Taking the prolonged covariant derivative of (45) in the direction of  $v_1$ , we get

$$\begin{aligned} \mathbf{v}_1^k \nabla_k \bar{\mathbf{v}}_3^i &= \left( \bar{\mathbf{v}}_1^k \nabla_k \bar{\mathbf{v}}_3^i \right) \mathbf{b} = -\bar{M}_2 \bar{\mathbf{v}}_2^i (-\mathbf{k}_1) \\ &= - \left( \mathbf{v}_1^k \nabla_k \frac{\mathbf{1}}{\bar{M}_1} \right) \mathbf{n}_2^i \\ &+ \left( \mathbf{v}_1^k \nabla_k \frac{\mathbf{1}}{\bar{M}_1} \right) \frac{k_2}{k_1} \mathbf{n}_1^i \\ &+ \frac{\mathbf{1}}{\bar{M}_1} \left( \mathbf{v}_1^k \nabla_k \frac{k_2}{k_1} \right) \mathbf{n}_1^i \end{aligned} \tag{46}$$

and multiplying (46) by  $g_{ij} \bar{\mathbf{v}}_2^j$ , we obtain

$$\bar{M}_2 = - \frac{\mathbf{1}}{[\bar{M}_1]^2} \frac{\mathbf{1}}{k_1} \left( \mathbf{v}_1^k \nabla_k \frac{k_2}{k_1} \right) = - \frac{k_1}{k_1^2 + k_2^2} \mathbf{v}_1^k \nabla_k \frac{k_2}{k_1} \tag{47}$$

or

$$\bar{M}_2 = - \frac{g_{ij} c^i_1 n^j_1}{(g_{ij} c^i_1 n^j_1)^2 + (g_{ij} c^i_2 n^j_2)^2} \mathbf{v}_1^k \nabla_k \left[ \frac{g_{ij} c^i_1 n^j_1}{g_{ij} c^i_1 n^j_1} \right] \tag{48}$$

where  $\bar{M}_2$  is the second curvature of  $\bar{F}$ .

**Corollary 2.** Let  $\bar{F}$  be  $n$  Bishop spherical image of  $C$ . If  $\frac{k_1}{k_2} = constant$ , then  $n$  Bishop spherical image  $f^i = f^i(\bar{s})$  is a circle.

**Proof.** By using Proposition 3, we get

$$\begin{aligned} \mathbf{v}_1^l \nabla_l \left( \mathbf{v}_1^k \nabla_k \bar{\mathbf{v}}_1^i \right) &= \mathbf{v}_1^l \nabla_l \left( \mathbf{v}_1^k \nabla_k \mathbf{v}_1^i \right) \\ &= \left( \mathbf{v}_1^l \nabla_l k_1 \right) \mathbf{n}_1^i + \left( \mathbf{v}_1^l \nabla_l k_2 \right) \mathbf{n}_2^i \\ &- (k_1^2 + k_2^2) \mathbf{v}_1^i \end{aligned} \tag{49}$$

and

$$\begin{aligned} g_{ij} \left( \mathbf{v}_1^k \nabla_k \bar{\mathbf{v}}_1^i \right) \left( \mathbf{v}_1^k \nabla_k \bar{\mathbf{v}}_1^j \right) \bar{\mathbf{v}}_1^i &= g_{ij} \left( \mathbf{v}_1^k \nabla_k \mathbf{v}_1^i \right) \left( \mathbf{v}_1^k \nabla_k \mathbf{v}_1^j \right) \mathbf{v}_1^i \\ &= (k_1^2 + k_2^2) \mathbf{v}_1^i \end{aligned} \tag{50}$$

Summing (49) and (50), we have

$$\begin{aligned} \mathbf{v}_1^l \nabla_l \left( \mathbf{v}_1^k \nabla_k \bar{\mathbf{v}}_1^i \right) + g_{ij} \left( \mathbf{v}_1^k \nabla_k \bar{\mathbf{v}}_1^i \right) \left( \mathbf{v}_1^k \nabla_k \bar{\mathbf{v}}_1^j \right) \bar{\mathbf{v}}_1^i \\ = \left( \mathbf{v}_1^l \nabla_l k_1 \right) \mathbf{n}_1^i + \left( \mathbf{v}_1^l \nabla_l k_2 \right) \mathbf{n}_2^i \end{aligned} \tag{51}$$

Using  $k_1 = \kappa_1 \cos \theta$  and  $k_2 = \kappa_1 \sin \theta$ , we obtain

$$\begin{aligned} \mathbf{v}_1^l \nabla_l k_1 &= \mathbf{v}_1^l \nabla_l (\kappa_1 \cos \theta) \\ &= \left( \mathbf{v}_1^l \nabla_l \kappa_1 \right) \cos \theta - \kappa_1 \left( \mathbf{v}_1^l \nabla_l \theta \right) \sin \theta \end{aligned} \tag{52}$$

and

$$\begin{aligned} \mathbf{v}_1^l \nabla_l k_2 &= \mathbf{v}_1^l \nabla_l (\kappa_1 \sin \theta) \\ &= \left( \mathbf{v}_1^l \nabla_l \kappa_1 \right) \sin \theta + \kappa_1 \left( \mathbf{v}_1^l \nabla_l \theta \right) \cos \theta \end{aligned} \tag{53}$$

where  $\theta = \theta(s) = \operatorname{arccot} \frac{k_1}{k_2}$  and  $\mathbf{v}_1^k \nabla_k \theta = \frac{\mathbf{v}_1^k \nabla_k \frac{k_1}{k_2}}{1 + \left( \frac{k_1}{k_2} \right)^2}$ .

It is known that  $\kappa_1 = \sqrt{k_1^2 + k_2^2}$ . In this case, we obtain

$$\begin{aligned} \mathbf{v}_1^k \nabla_k \kappa_1 &= \mathbf{v}_1^k \nabla_k \sqrt{k_2^2 \left[ \left( \frac{k_1}{k_2} \right)^2 + 1 \right]} \\ &= \frac{\mathbf{1}}{\sqrt{k_1^2 + k_2^2 - k_2 \sin \theta \left( \frac{k_1^2 + k_2^2}{k_2^2} \right)}} \\ &\cdot \left\{ k_2 \kappa_1 \left( \mathbf{v}_1^k \nabla_k \theta \right) \cos \theta \left( \frac{k_1^2 + k_2^2}{k_2^2} \right) \right. \\ &\quad \left. + k_2 k_1 \left( \mathbf{v}_1^k \nabla_k \frac{k_1}{k_2} \right) \right\} \end{aligned} \tag{54}$$

If  $\frac{k_1}{k_2} = constant$ , we have  $\mathbf{v}_1^k \nabla_k \theta = 0$  and  $\mathbf{v}_1^k \nabla_k \kappa_1 = 0$ . This means  $\mathbf{v}_1^k \nabla_k k_1 = 0$  and  $\mathbf{v}_1^k \nabla_k k_2 = 0$ . Using these results in (51),

$$\mathbf{v}_1^l \nabla_l \left( \mathbf{v}_1^k \nabla_k \bar{\mathbf{v}}_1^i \right) + g_{ij} \left( \mathbf{v}_1^k \nabla_k \bar{\mathbf{v}}_1^i \right) \left( \mathbf{v}_1^k \nabla_k \bar{\mathbf{v}}_1^j \right) \bar{\mathbf{v}}_1^i = \mathbf{0} \tag{55}$$

is obtained. So, it is shown that  $\bar{F} : f^i = f^i(\bar{s})$  is a circle.  $\square$

**Theorem 3.** Let  $\bar{F} : f^i = f^i(\bar{s})$  be  $n$  Bishop spherical image of  $C$ . If  $\bar{F}$  is a general helix, then

$$\frac{k_1^2}{(k_1^2 + k_2^2)^{3/2}} \left( \mathbf{v}_1^k \nabla_k \frac{k_2}{k_1} \right) = constant$$

is valid.

**Theorem 4.** Let  $\bar{F} : f^i = f^i(\bar{s})$  be  $n$  Bishop spherical image of  $C$ . If  $\bar{F}$  is a slant helix, then

$$\frac{(k_1^2 + k_2^2)^4 k_1}{\left\{ (k_1^2 + k_2^2)^3 + k_1^4 \left[ \mathbf{v}_1^k \nabla_k \frac{k_2}{k_1} \right]^2 \right\}^{3/2}} \mathbf{v}_1^l \nabla_l \left[ \frac{k_1^2 \mathbf{v}_1^k \nabla_k \frac{k_2}{k_1}}{(k_1^2 + k_2^2)^{3/2}} \right] = constant.$$

Since  $\bar{F} : f^i = f^i(\bar{s})$  is a spherical curve, by using Proposition 2, we can state the following theorem:

**Theorem 5.** Let  $\bar{F} : f^i = f^i(\bar{s})$  be  $n$  Bishop spherical image of  $C$ . In this case, the following equation

$$\frac{k_1^2}{(k_1^2 + k_2^2)^{3/2}} \left( \mathbf{v}_1^k \nabla_k \frac{k_2}{k_1} \right) - \mathbf{v}_1^k \nabla_k \frac{k_1 k_2}{\sqrt{k_1^2 + k_2^2}} = constant.$$

is valid.

**Theorem 6.** Let  $\bar{F} : f^i = f^i(\bar{s})$  be  $n$  Bishop spherical image of  $C$ . If  $\frac{k_2}{k_1} = constant$ , then  $\bar{\mathbf{v}}$  is parallel translated along  $\bar{\mathbf{v}}$ .

**Proof.** From (46), it is known that

$$\begin{aligned} v^k \nabla_k \bar{v}^i &= \left( \bar{v}^k \dot{\nabla}_k \bar{v}^i \right) (-k_1) \\ &= - \left( v^k \nabla_k \frac{1}{M_1} \right) n_2^i \\ &+ \left( v^k \nabla_k \frac{1}{M_1} \right) \frac{k_2}{k_1} n_1^i \\ &+ \frac{1}{M_1} \left( v^k \nabla_k \frac{k_2}{k_1} \right) n_1^i \end{aligned} \tag{56}$$

and

$$\begin{aligned} \bar{v}^k \dot{\nabla}_k \bar{v}^i &= \bar{a}^i = \frac{1}{k_1} \left( v^k \nabla_k \frac{1}{M_1} \right) n_2^i \\ &- \frac{k_2}{k_1^2} \left( v^k \nabla_k \frac{1}{M_1} \right) n_1^i \\ &- \frac{1}{k_1} \frac{1}{M_1} \left( v^k \nabla_k \frac{k_2}{k_1} \right) n_1^i \end{aligned} \tag{57}$$

where  $\bar{a}^i$  is defined  $\bar{a}^i = \frac{p}{\bar{\tau}} \bar{v}^i = \frac{p}{T_k} \bar{v}^k \bar{v}^i$  and it is named the Chebyshev vector field of the first kind of the net  $(\bar{v}_1, \bar{v}_2, \bar{v}_3)$ . Besides,  $\frac{p}{\bar{\tau}} = \frac{p}{T_k} \bar{v}^k$  is called the Chebyshev curvature of the first kind of the net  $(\bar{v}_1, \bar{v}_2, \bar{v}_3)$  (Tsareva and Zlatanov, 1990).

By taking prolong covariant derivative of  $\frac{1}{M_1}$  in the direction of  $v$ , we get

$$v^k \nabla_k \frac{1}{M_1} = - \frac{k_1^2 k_2}{(k_1^2 + k_2^2)^{3/2}} \left( v^k \nabla_k \frac{k_2}{k_1} \right). \tag{58}$$

By using (58) in (57) and by considering the condition  $\frac{k_2}{k_1} = constant$ , we have

$$\bar{a}^i = 0. \tag{59}$$

It means that  $\bar{v}_3$  is parallel translated along  $\bar{v}_1$ . □

**Definition 5.** Let  $C$  be a curve in  $W_3$ . If we translate the third vector field of type-1 Bishop frame to the center  $O$  of the unit sphere  $S^2$ , we obtain  $\bar{G} : g^i = g^i(\bar{s})$  ( $\bar{s}$  is the arc length parameter of  $\bar{G}$ ).  $\bar{G}$  is called  $n_2^i$  Bishop spherical image or indicatrix of the curve  $C$ .

Let us express the relations between type-1 Bishop and Frenet-Serret invariants similarly by taking prolonged covariant derivative of  $g^i$  in the direction of  $v$ , we get

$$v^k \nabla_k g^i = -k_2 v_1^i \tag{60}$$

$$\left( \bar{v}^k \dot{\nabla}_k g^i \right) c = -k_2 v_1^i \tag{61}$$

$$\bar{v}^i c = -k_2 v_1^i. \tag{62}$$

where  $\bar{v}_1^i$  is the tangent vector field of  $\bar{G}$ ,  $g_{ij} \bar{v}_1^i \bar{v}_1^j = 1$  and  $c = c(s)$ .

Taking the norm of both sides of (62), we have

$$c = \mp k_2. \tag{63}$$

Let us choose  $c = -k_2$ . Then, we obtain

$$\bar{v}_1^i = v_1^i. \tag{64}$$

By taking prolonged covariant derivative of (64) in the direction of  $v$ , we have

$$v^k \nabla_k \bar{v}_1^i = \left( \bar{v}^k \dot{\nabla}_k \bar{v}_1^i \right) c = v^k \nabla_k v_1^i \tag{65}$$

$$\bar{H}_1 \bar{v}_2^i (-k_2) = k_1 n_1^i + k_2 n_2^i \tag{66}$$

$$\bar{H}_1 \bar{v}_2^i = -\frac{k_1}{k_2} n_1^i - n_2^i. \tag{67}$$

By taking the norm of both sides of (67), we get

$$\bar{H}_1 = \sqrt{\left( \frac{k_1}{k_2} \right)^2 + 1} = \sqrt{\left[ \frac{g_{ij} c^i n_1^j}{g_{ij} c^i n_1^j} \right]^2 + 1} \tag{68}$$

and

$$\bar{v}_2^i = -\frac{1}{\bar{H}_1} \frac{k_1}{k_2} n_1^i - \frac{1}{\bar{H}_1} n_2^i. \tag{69}$$

where  $\bar{v}_2^i$  is the principal normal vector field of  $\bar{G}$ ,  $g_{ij} \bar{v}_2^i \bar{v}_2^j = 1$  and  $\bar{H}_1$  is the first curvature of  $\bar{G}$ .

$\bar{v}_3^i$  is the binormal vector field of  $\bar{G}$  and it is expressed as follows:

$$\bar{v}_3^i = \epsilon_{ijk} \bar{v}_1^j \bar{v}_2^k. \tag{70}$$

By using (64) and (69) in (70), we have

$$\bar{v}_3^i = -\frac{1}{\bar{H}_1} \frac{k_1}{k_2} n_2^i - \frac{1}{\bar{H}_1} n_1^i. \tag{71}$$

Taking the prolonged covariant derivative of (71) in the direction of  $v$ , we obtain

$$\begin{aligned} v^k \nabla_k \bar{v}_3^i &= \left( \bar{v}^k \dot{\nabla}_k \bar{v}_3^i \right) c = -\bar{H}_2 \bar{v}_2^i (-k_2) \\ &= - \left( v^k \nabla_k \frac{1}{\bar{H}_1} \right) \frac{k_1}{k_2} n_2^i \\ &- \frac{1}{\bar{H}_1} \left( v^k \nabla_k \frac{k_1}{k_2} \right) n_2^i \\ &+ \left( v^k \nabla_k \frac{1}{\bar{H}_1} \right) n_1^i \end{aligned} \tag{72}$$

and then multiplying (72) by  $g_{ij} \bar{v}_2^j$ , we get

$$\bar{H}_2 = \left(\frac{1}{\bar{H}_1}\right)^2 \frac{1}{k_2} \left(v^k \bar{\nabla}_k \frac{k_1}{k_2}\right) = \frac{k_2}{k_1^2 + k_2^2} \left(v^k \bar{\nabla}_k \frac{k_1}{k_2}\right) \quad (73)$$

or

$$\bar{H}_2 = \frac{g_{ij} c^i n^j}{\left(g_{ij} c^i n^j\right)^2 + \left(g_{ij} c^i n^j\right)^2} v^k \bar{\nabla}_k \left[\frac{g_{ij} c^i n^j}{g_{ij} c^i n^j}\right] \quad (74)$$

where  $\bar{H}_2$  is the second curvature of  $\bar{G}$ .

**Corollary 3.** Let  $\bar{G}$  be  $n_2$  Bishop spherical image of  $C$ . If  $\frac{k_1}{k_2} = constant$ , then  $n_2$  Bishop spherical image  $g^i = g^i(\bar{s})$  is a circle.

**Proof.** It is the same with the proof of Corollary 2.  $\square$

**Theorem 7.** Let  $\bar{G} : g^i = g^i(\bar{s})$  be  $n_2$  Bishop spherical image of  $C$ . If  $\bar{G}$  is a general helix, then

$$\frac{k_2^2}{(k_1^2 + k_2^2)^{3/2}} \left(v^k \bar{\nabla}_k \frac{k_1}{k_2}\right) = constant$$

is satisfied.

**Theorem 8.** Let  $\bar{G} : g^i = g^i(\bar{s})$  be  $n_2$  Bishop spherical image of  $C$ . If  $\bar{G}$  is a slant helix, then

$$\frac{k_2(k_1^2 + k_2^2)^4}{\left\{(k_1^2 + k_2^2)^3 + k_1^4 \left[v^k \bar{\nabla}_k \frac{k_1}{k_2}\right]^2\right\}^{3/2}} v^l \bar{\nabla}_l \left[\frac{k_2^2}{(k_1^2 + k_2^2)^{3/2}} v^k \bar{\nabla}_k \frac{k_1}{k_2}\right] = constant$$

is valid.

Since  $\bar{G} : g^i = g^i(\bar{s})$  is spherical curve, with the help of Proposition 2, we can state the following theorem:

**Theorem 9.** Let  $\bar{G} : g^i = g^i(\bar{s})$  be  $n_2$  Bishop spherical image of  $C$ . In that case, the following equation

$$\frac{k_2^2}{(k_1^2 + k_2^2)^{3/2}} \left(v^k \bar{\nabla}_k \frac{k_2}{k_1}\right) - v^k \bar{\nabla}_k \frac{k_1 k_2}{\sqrt{k_1^2 + k_2^2}} = constant$$

is satisfied.

**Theorem 10.** Let  $\bar{G} : g^i = g^i(\bar{s})$  be  $n_2$  Bishop spherical image of  $C$ . If  $\frac{k_1}{k_2} = constant$ , then  $\bar{v}_3$  is parallel translated along  $\bar{v}_1$ .

**Proof.** With reason of equation (72), the following equality can be written:

$$\begin{aligned} \bar{v}_1^k \bar{\nabla}_k \bar{v}_3^i &= \bar{a}_{31}^i = -\frac{k_1}{k_2^2} \left(v^k \bar{\nabla}_k \frac{1}{\bar{H}_1}\right) n_2^i \\ &\quad - \frac{1}{k_2} \frac{1}{\bar{H}_1} \left(v^k \bar{\nabla}_k \frac{k_1}{k_2}\right) n_2^i \\ &\quad + \frac{1}{k_2} \left(v^k \bar{\nabla}_k \frac{1}{\bar{H}_1}\right) n_1^i. \end{aligned} \quad (75)$$

Taking the prolonged covariant derivative of  $\frac{1}{\bar{H}_1}$  in the direction of  $v_1$ , we get

$$v_1^k \bar{\nabla}_k \frac{1}{\bar{H}_1} = -\frac{k_1 k_2^2}{(k_1^2 + k_2^2)^{3/2}} \left(v^k \bar{\nabla}_k \frac{k_1}{k_2}\right). \quad (76)$$

Using (76) in (75), under the condition  $\frac{k_1}{k_2} = constant$ , we obtain

$$\bar{a}_{31}^i = 0. \quad (77)$$

So, we see that  $\bar{v}_3$  is parallel translated along  $\bar{v}_1$ .  $\square$

## 5. Conclusions

In this work, we have defined some special curves, such as general helix, slant helix, spherical curve and circle in Weyl space, by using prolonged covariant derivative. Later, we have examined the spherical images of a curve and the conditions to be special curves of these images. Further, we expressed the relations among the vector fields of Frenet-Serret and Bishop frame belonging to the images. We have seen that, all of the concepts discussed can be written in terms of Bishop curvatures. Earlier, the equivalents in Weyl space of Bishop curvatures were obtained. Thus, they were used in this discussion. Finally, parallel displacement condition for binormal vector fields of  $n_1$  and  $n_2$  spherical images was formulated.

## Acknowledgement

The author would like to thank the anonymous reviewers for providing very insightful and constructive comments.

## References

- Bishop, R. L. (1975). There is more than one way to frame a curve. The American Mathematical Monthly, 82(3), 246-251.
- Bükçü, B., & Karacan, M. K. (2007). The Bishop Darboux rotation axis of the spacelike curve in Minkowski 3-space. Ege University Journal of Faculty of Science, 3(1), 1-5.
- Bükçü, B., & Karacan, M. K. (2008a). Special Bishop motion and Bishop Darboux rotation axis of the space curve. Journal of Dynamical Systems and Geometric Theories, 6(1), 27-34.
- Bükçü, B., & Karacan, M. K. (2008b). On the slant helices according to Bishop frame of the timelike curve in Lorentzian space. Tamkang Journal of Mathematics, 39(3), 255-262.
- Bükçü, B., & Karacan, M. K. (2009). The slant helices according to Bishop frame. International Journal of Computational and Mathematical Sciences, 3(2), 67-70.
- Izumiya, S., & Takeuchi, N. (2004). New special curves and developable surfaces. Turkish Journal of Mathematics, 28(2), 153-164.
- Karacan, M. K., & Bükçü, B. (2008). Bishop frame of the timelike curve in Minkowski 3-space. Suleyman Demirel University Journal of Science, 3(1), 80-90.
- Kofoğlu, N. (2020). Slant Helices According to Type-1 Bishop Frame in Weyl Space. International Mathematical Forum 15(4), 163-171.
- Kula, L., Ekmekci, N., Yaylı, Y., & İlarıslan, K. (2010). Characterizations of slant helices in Euclidean 3-space. Turkish Journal of Mathematics, 34(2), 261-274.
- Nomizu, K. & Yano, K. (1974). On circles and spheres in Riemannian Geometry. Mathematische Annalen, 134, 163-170.

- Özdeğer, A. & Şentürk, Z. (2002). Generalized circles in Weyl spaces and their conformal mapping. *Publ. Math. Debrecen*, 60, 75-87.
- Şemin, F. (1983). *Differential Geometry I*. İstanbul University.
- Tsareva, B., & Zlatanov, G. (1990). On the geometry of the nets in the n-dimensional space of Weyl. *Journal of Geometry*, 38(1-2), 182-197.
- Yılmaz, S. (2009). Position vectors of some special spacelike curves according to Bishop frame in Minkowski space  $E_1^3$ . *Scientia Magna*, 5, 47-49.
- Yılmaz, S., Özyılmaz, E., & Turgut, M. (2010). New spherical indicatrices and their characterizations. *Analele Ştiinţifice ale Universităţii Ovidius*, 18(2), 337-354.



# Microbial Fertilizer Seed Coating Effect on Different Soybean (*Glycine Max L.*) Varieties Growth Yield and Quality in Altınekin (Konya) Ecological Conditions

Nurgül Kıtır Şen<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> Gebze Teknik University, Institute of Earth and Marine Sciences, Kocaeli, Turkey, (ORCID: 0000-0001-7463-4186), [nksen@gtu.edu.tr](mailto:nksen@gtu.edu.tr)

(First received 8 July 2021 and in final form 9 September 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.966424)

**ATIF/REFERENCE:** Kıtır Sen, N. (2021). Microbial Fertilizer Seed Coating Effect on Different Soybean (*Glycine Max L.*) Varieties Growth Yield and Quality in Altınekin (Konya) Ecological Conditions. *European Journal of Science and Technology*, (27), 459-465.

## Abstract

It has been observed in many studies that microbial fertilizers increase the efficiency of plant quality and productivity. The use of microbial fertilizers as seed biofilm coating agents is a new process. Since soybean is a very sensitive crop, it needs special conditions in order to achieve a viable productivity in its cultivation. In this study, seed biofilm coating applications were carried out on two different local soybean cultivars called İlksoy and Ceysoy of the effect of PGPR-based microbial consortium (*Bacillus subtilis*, *Bacillus megaterium* and *Lactococcus spp.*). Nitrogen (N<sub>2</sub>) stabilizer and phosphate (PO<sub>4</sub>) solubilizing microorganisms were used. Seed coating systems are often used for the protection of seeds, but the use of feeding has not become widespread. Good nutrition is essential for the future growth period and quality of the crop, from seed planting to the seedling development period. In areas where conventional farming is practiced, fertilization is often not given sufficient attention due to the tedious application and cost. Therefore, seed coating may be an alternative solution to reduce fertilization application times, quantities and costs. Based on this perception, the study was conducted in Altınekin, Konya, which is known as a semi-arid and mostly traditional agricultural region. An alternative product potential for agriculture in semi-arid regions, microbial fertilizer seed coatings and native soybean varieties (Ilksoy and Ceysoy) were investigated in Altınekin (Konya). Some growth, yield and quality contents of soybean were determined by this study. The fieldwork was carried out in the Altınekin, Konya region according to the random block field experiment design. The productivity and physical properties of soybean were tested and the oil content of soybean seeds was analyzed by Near Infrared Spectrometry (NIRS). According to the results obtained, the effect of seed coating application on yield increase was statistically significant at the p<0.01 level. In addition, statistically significant effects of cultivar and bacterial application interaction on yield increase were found.

**Keywords:** Soybean, Microbial fertilizer, Seed coating, Yield, Quality.

## Altınekin (Konya) Ekolojik Koşullarında Yetiştirilen Farklı Soya (*Glycine Max L.*) Çeşitlerinde Mikrobiyal Gübre Tohum Kaplamasının Verim ve Kalite Unsurlarına Etkisi

### Öz

Mikrobiyal gübrelerin bitki kalitesi ve üretkenliği üzerindeki verimliliğini artırdığı yapılan bir çok çalışmada gözlemlenmiştir. Mikrobiyal gübrelerin tohum biyofilm kaplama ajanı olarak kullanılması yeni bir prosedir. Soya fasulyesi çok hassas bir ürün olduğundan yetiştiriciliğinde uygulanabilir bir verimlilik elde etmek için özel şartlara ihtiyaç duyar. Bu çalışmada, PGPR bazlı mikrobiyal konsorsiyum (*Bacillus subtilis*, *Bacillus megaterium* ve *Lactococcus spp.*) etkisinin, İlksoy ve Ceysoy olarak adlandırılan iki farklı yerel soya çeşidi üzerinde tohum biyofilm kaplama uygulamaları yapılmıştır. Soya fasulyesi tohum döneminde besleme etkinliklerini görmek için biyofilm tohum kaplamasında için azot (N<sub>2</sub>) sabitleyici ve fosfat (PO<sub>4</sub>) çözüldürücü mikroorganizmalar

\* Corresponding Author: [nksen@gtu.edu.tr](mailto:nksen@gtu.edu.tr)



kullanılmıştır. Tohum kaplama sistemleri genellikle tohumların korunması için kullanılır, ancak besleme kullanımı yaygınlaşmamıştır. Ürünün gelecekteki büyüme dönemi ve kalitesi için tohum ekiminden fide gelişim periyoduna kadar iyi bir besleme şarttır. Konvansiyonel tarım yapılan bölgelerde, meşakkatli uygulama ve maliyet nedeniyle çoğunlukla gübrelemeye yeterli önem verilmemektedir. Bu nedenle tohum kaplaması, gübreleme uygulama sürelerini, miktarlarını ve maliyetini azaltmak için alternative bir çözüm olabilir. Bu alıdan yola çıkarak, çalışma yarı kurak ve çoğunlukla geleneksel tarım bölgesi olarak bilinen Altnekin, Konya'da yapılmıştır. Yarı kurak bölgelerde tarım için alternatif bir ürün potansiyeli, mikrobiyal gübre tohum kaplamaları ile yerli soya fasulyesi çeşitleri (İlksoy ve Ceysoy), Altnekin (Konya) bölgesinde incelenmiştir. Soya fasülyesinde bazı gelişim verim ve kalite içerikleri bu çalışma ile tespit edilmiştir. Saha çalışması Altnekin, Konya bölgesinde tam şansa bağlı tesadüf blokları tarla deneme desenine göre yapılmıştır. Soya fasulyesinin üretkenliği ve fiziksel özellikleri test edilerek ve soya fasulyesi tohumlarının yağ içeriği Near infrared spektrometre (NIRS) ile analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre tohum kaplama uygulamasının verim artışına etkisi istatistiksel olarak  $p < 0.01$  düzeyinde anlamlı bulunmuştur. Ayrıca çeşit ve bakteri uygulama interaksyonunun da verim artışı üzerinde istatistiksel olarak önemli etkileri bulunmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Soya, Mikrobiyal gübre, Tohum kaplama, Verim, Kalite.

## 1. Introduction

Soybean is known as one of the crucial oil crops all over the world (Ibrahim, 2015). Soybean (*Glycine max* L.), which is summer and annual plant, has been the most valuable food source of Far East countries such as China and Korea for nearly 4500 years. Soybean is also known as the wonderful plant of the century, has an important place in human and animal nutrition since it contains 18-24%, oil 36-40% protein, 26% carbohydrate and 8% mineral substances in its seeds. Due to the nutrients it contains, soybeans are used in more than 250 different places. Soy oil, which is fragrant and yellow in color; since it contains fatty acids that regulate fat and lipid metabolism in the human, it is of great importance in the nutrition of people with vascular stiffness, diabetes and coronary heart disease. An important feature of soybean oil is that it has an anti-narrowing effect. Since soybean oil has Ca, Fe, Zn elements, B and E vitamins, it has an important place in human nutrition (Altınyüzük, 2017). The initial farming of Soybean in Turkey has started in 1940, Blacksea region. The farming of wheat as the main product, then soy cultivation as the second product has been started in 1975, Cukurova (Arioğlu, 2007).

Seed coating is a common application in Soybean due to its sensitive seed. In a study it has been confirmed that coating with phosphorus fertilizer of Soybean seed increases productivity due to the phosphorus dosage and source. In the form of phytic acid of phosphorus seed coating application to soybean was increased soybean yield in 14% in the grain total mass (Peske, Baudet, & Peske, 2009). Rhizobial inoculants has been used for seed coating for increasing  $N_2$  fixation on soybean seeds correlated the inoculation performance has been varied in a high ratio (Dobereiner, Urquiaga, & Boddey, 1995; Kubota, Hoshiba, & Bordon, 2008; Peoples & Craswell, 1992). The common idea of using phosphate solubilizing microorganisms to increase the existing phosphorus intake and reduce the fertilizer usage in the soil (Fernández, Zalba, Gómez, & Sagardoy, 2007; Illmer & Schinner, 1992). Soil is the isolation source of most of the phosphate solubilizing bacteria like *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Rhizobium*, *Micrococcus* etc. (Fernández et al., 2007; Rodríguez & Fraga, 1999).

The aim of this study to see the growth potential of some domestic varieties of soybean in Altnekin (Konya region) as semiarid climate condition as an alternative product for rotation and to see the microbial seed coating nutrition efficiency of soybean on product yield and quality.

## 2. Material and Method

### 2.1. Field Conditions

The present study was carried out in field conditions Beta Ziraat ve Ticaret Inc., in Turkey, Konya, Altnekin region between 2018-2019. Altnekin is located at 38.2989 N, 32.8792 E; 1080 m altitude. Average yearly precipitation (1988–2018) is 404.9 mm, which is regarded semiarid climate. The mean temperatures, mean relative humidity and total precipitation average values during growing period (April–October) were 19.45°C, 47.81%, and 27.32 mm, respectively in 2018. The experimental area soil was aridisol according to the U.S. soil taxonomy.. Soil pH was 7.95, EC 0.26 mmhos/cm organic matter 1.79%,  $CaCO_3$  66.34%, total N 0.0093%, exchangeable  $CaCO_3$  2069 mg  $kg^{-1}$ , Mg 251 mg  $kg^{-1}$ ,  $K_2O$  124.3 mg  $kg^{-1}$ , Na 118.35 mg  $kg^{-1}$ , plant-available P 10.88 mg  $kg^{-1}$ , available Fe 1.74 mg  $kg^{-1}$ , Mn 5.72 mg  $kg^{-1}$ , Zn 1.062 mg  $kg^{-1}$ , Cu 0.602 mg  $kg^{-1}$ .

### 2.2. Microbial Fertilizer Seed Coating

A commercial product which isolates are provided by Yeditepe University called 'Bactoboost' was used for soybean seed coating in this study. This product is in a dense liquid form and includes *Bacillus megaterium*, *Bacillus subtilis*, *Lactococcus spp.* The total living organisms amount is  $1 \times 10^6$  cfu/ml. 50 ml product was mixed with 100 ml water and was inoculated on soybean seeds with a seed coating machine Centriccoater CC150 for 3 minutes then we left them to dry for 15 minutes.

### 2.3. Field Trials

The experiment was arranged as a completely randomized block design including seed coating formulation composed from three different microorganisms and one control without seed coating application for each soybean variety as İlksoy and Ceysoy. It was repeated for 12 rows and for each row 9 plant was taken for analysis and totally 108 plant were used for a group. Seedlings were planted in unused arable land, weeding was done by hand when required, and any chemical pesticides or fertilizers not used. Plants were adequately irrigated to prevent water stress. The sowing date is 6th of April 2018 and harvesting date is 20th of October 2018. Seeding was made with sowing machine to the field. Parcel area between row and within row were 70 cm, 8.3 cm, respectively.

### 2.4. Yield and Quality Analysis

The yield analysis as plant height, number of bean in a soybean plant, total grain number for each plant, plant total grain weight were measured. The oil content of soybean seeds have

been analysed with Near-infrared Spectrometer (NIRS). For protein analysis, Kheldahl N Protein Analysis Device were used and as method TS 1620 TS 1748 ISO 937 TS EN ISO 8968-1 was used.

## **2.5. Statistical Analysis**

The Data were evaluated by SAS, Minitab 19, SPSS 25 Statistical Package Program.

## **3. Results and Discussion**

The variance analyses of obtained results from the seed coating application on İlksoy and Ceysoy soybean plant varieties were given on Table 1. As can be seen in the table, the differences between the cultivars in plant height, seed weight per plant and oil per plant were found to be statistically significant at the  $p < 0.01$  level. In terms of bacteria application, the effect of bacterial application was determined as very important ( $p < 0.01$ ) in terms of the number of pods in the plant and the total number of seeds and weight in the plant. Variety x bacteria interaction was found at the level of 1% in the number of pods in the plant at the height of the plant, while it was determined as 5% in the total grain weight of the plant (Table 1). Another event that can be understood from the table; while the genotypic potential gains importance in plant height and oil ratio; The number of pods per plant, the total number of grains per plant and the weight of bacteria were found to be more effective than genotypic performance. As a matter of fact, the genotype x environment interaction, which was determined as important in plant height, number of pods per plant and total grain weight in the plant, shows how effective the bacterial application is as an environmental effect. The expression of the effect of the bacteria applied on the İlksoy and Ceysoy cultivars in terms of average values in terms of different yield and quality factors in soybean is given in Table 2. Although plant height is under the influence of genotype-environment interaction, the genotypic effect was found to be higher than the environment in our study. The significant difference in plant height in cultivars was due to genotypic differences. Studies have already shown that plant height is shaped between genotypic capacity and environmental stress and varies depending on the effect size of both factors (Büyük, Soydam-Aydın, Aras, & Biyoloji, 2012). In our study, although the plant height obtained from Ceysoy is higher than that obtained from İlksoy, the bacterial genotype interaction was determined to be important because the effect of the bacterium was higher in Ceysoy variety and the bacterium reduced the plant height in İlksoy variety.

In soybean, pod number is one of the plant factors affecting yield and it is an important element in determining the number of grains and grain weight in the plant (Pekşen & Gülümser, 2005). Therefore, increasing the pod number in soybean up to a certain optimum has a positive effect on yield. On the other hand, pod number is widely affected in environmental conditions and agronomic applications. The fact that it has a greater effect than the capacity is an indication that the pod number is highly affected by environmental conditions. In our study, the effect of bacteria application is approximately 30% more than the control (91,35), which shows how large the effect of bacterial application is. The number of plants is very important in determining the yield together with other yield elements, and this element is significantly affected by the environment, as in the number of pods. This element, which is more sensitive to agronomic applications, is also influenced by the nutrient status in the soil.

Therefore, both genotypic and environmental factors affect the number of seeds in the plant. Many studies have revealed that environmental effects are more evident in determining the number of grains in the plant than the genotypic effect (Baresel, Zimmermann, & Reents, 2008). Again, studies have shown that environmental effects have a similar effect on genotypes, that is, genotypes are affected by the environment at similar rates. Similarly, in our study, the value obtained from the bacterial application was determined to be statistically significantly higher than the control. In our study, the total grain weight of the plant was found to be significant at the level of 1% in terms of genotypes bacteria application and genotype x bacteria interaction. Bacteria application provided a significant grain weight production compared to the control, but Ceysoy was the variety with higher grain weight than the first line. Again, the difference in grain weight between the bacteria and the control group for Ceysoy was considerably less than that of the first strain, which caused the genotype x bacteria interaction to be significant. Therefore, bacteria application gave better results in Ceysoy variety in terms of total grain weight. Similar to our study, some studies showed that effective agronomic applications such as bacteria caused an increase in the total grain weight of the plant and this increase changed significantly depending on the genotypic capacity (Khoshgoftarmanesh, Schulin, Chaney, Daneshbakhsh, & Afyuni, 2010). Although the difference in total grain weight between soybean varieties that respond very well to bacterial applications, it was determined that the grain weight increased significantly under optimum growing conditions. In our study, the fact that bacteria application caused higher grain weight and Ceysoy variety caused significantly higher then weight and higher grain weight was obtained in Ceysoy variety than İlksoy variety which supports this situation. In many studies, it has been determined that environmental effects and breeding technique applications, which are highly affected by the genotype x environment interaction, have a significant effect on the increase and decrease of protein ratio. In addition, it has been emphasized in some studies that the protein ratio is relatively not affected by the environment, but rather shaped under genotypic effect. In our study, the differences between genotypes and bacteria application and control were determined to be insignificant. In this case, it can be concluded that the protein ratio in both varieties is insensitive to fertilizer application or the protein ratio is not affected by either genotypic or environmental effects. In fact, the protein ratio is a product that emerges as a result of metabolic activities that occur as a result of photosynthetic activity and is the basic building block of the plant. Although photosynthetic activities increase and decrease depending on genotypic performance, it is also an element that responds well when breeding techniques and environmental conditions are optimal and close to optimum, so the protein content is higher under optimum conditions and high genotypic conditions (Umar & Nutrition, 2002). Contrary to the literature, the fact that genotypic and application differences did not occur significantly in our study can be explained by the fact that bacterial application did not have a significant effect on the protein ratio and the difference between genotypes was small. Although the oil rate in the plant responds well to environmental conditions, it mostly occurs depending on genotypic characteristics. The fat ratio, which is the end product of catabolism, causes great differences between genotypes (Schlüter et al., 2012). Therefore, the fact that more fatty acids are obtained from the İlksoy variety in our study shows this situation. In addition, the oil rate in the plant is not a feature that can change significantly depending on the differences of external factors.

Therefore, it is less affected by environmental conditions. The small difference between bacteria and control in our study is similar to this situation. In addition, the oil ratio, which changed slightly against environmental conditions, caused the genotype x bacteria interaction to be insignificant. The oil ratio is an important criterion in determining the commercial value of plants, and it should not be forgotten that a high and edible genotype will have a high commercial spread and preference (Divakara, Upadhyaya, Wani, & Gowda, 2010). The correlation analysis of yield and quality elements examined in our study is given in Table 3. As seen from the table the plant height and grain weight and grain number and number of grains and number of pods, and again between grain weight and number of grains, a positive and 1%

significant relationship was determined. On the other hand, there was a negative 5% level significant relationship between oil content and grain number. Considering the degree of representation of the grain weight close to yield, it is a natural result that the number of pods and grains in the plant affects the grain weight. On the other hand, since the oil ratio does not increase directly with plant growth, the oil ratio that does not change much is expected to be negatively related to the number of grains.

Table 1. Variance Analysis Table Showing the Effect of Bacterial Application on Soybean Varieties

	Height of Plant (cm)			Number of Pod in Plant		Total Grain Number per Plant		Total Grain Weight per Plant (gr)	
	D.F.	Me.Sq.	F <sub>value</sub>	Me.Sq.	F <sub>value</sub>	Me.Sq.	F <sub>value</sub>	Me.Sq.	F <sub>value</sub>
Replication	108	83.632	0.921ns	639.050	1.510**	652.537	1.261ns	35.560	1.095ns
Genotype	1	32344.083	356.045**	69.280	0.164ns	1406.039	2.717ns	268.680	8.274**
Bacteria	1	273.926	3.015ns	21463.021	50.706**	43480.454	84.021**	1148.205	35.358**
Type xBacteria	1	1372.454	15.108**	4427.521	10.460**	1720.009	3.324ns	136.474	4.203**
Error	321	90.843		423.283		517.497		32.474	
Total	431	167.285		534.135		661.680		36.618	
CV (%):			<b>23.335</b>		<b>42.332</b>		<b>31.406</b>		<b>55.292</b>
Protein Ratio (%)					Oil Ratio (%)				
	D.F.	Me.Sq.	F <sub>value</sub>		D.F.	Me.Sq.	F <sub>value</sub>		F <sub>value</sub>
Replication	2	0.250	0.015ns	Repetition	11	0.720	0.723ns		
Type	1	85.333	5.078ns	Type	1	114.238	114.805**		
Bacteria	1	16.333	0.972ns	Bacteria	1	0.065	0.066ns		
Genotype x Bacteria	1	12.000	0.714ns	Type x Bacteria	1	1.566	1.574ns		
Error	6	16.806		Error	33	0.995			
Total	11	19.545		Total	47	3.332			
CV (%):			<b>17.333</b>				<b>10.376</b>		

\*\* : The mean difference is significant at the 0.01 level.

Table 2. Effect of Bacterial Application on Varieties in terms of Yield and Quality

Height of Soybean Plant (cm)					Total Grain Number for Soybean Plant				
	İlksoy	Ceysoy	Mean		İlksoy	Ceysoy	Mean		
Bacteria	45.787	66.657	56.222	Bacteria	64.444	58.843	61.644 A		
Control	47.759	61.500	54.630	Control	43.944	51.148	47.546 B		
Mean	46.773 B	64.079 A	55.426	Mean	54.194	54.995	54.595		
L.S.D.(%)	Genotype: 3.398; Genotype. x Bacteria Int: 3.400				L.S:D.(%) Bacteria: 6.864				
Number of Pod in Soybean Plant					Total Grain Weight for Soybean Plant (gr)				
	İlksoy	Ceysoy	Mean		İlksoy	Ceysoy	Mean		
Bacteria	93.000	90.870	91.935 A	Bacteria	12.348	12.801	12.574 A		
Control	76.926	66.815	71.870 B	Control	7.963	10.665	9.314 B		
Mean	84.963 A	78.843 B	81.903	Mean	10.156 B	11.733 A	10.944		
L.S.D.(%)	Bacteria: 7.351; Genotype. x Bacteria. Int: 7.348				L:S:D.(%) Bacteria: 2.864; Genotype: 1,543, Genotype. x Bacteria. İnt:: 3.348				
Protein Content (%)					Oil Content (%)				
	İlksoy	Ceysoy	Mean		İlksoy	Ceysoy	Mean		
Bacteria	25.000	28.333	26.667	Bacteria	18.918	16.193	17.555		
Control	20.667	28.000	24.333	Control	19.353	15.906	17.629		
Mean	22.833	28.167	25.500	Mean	19.135 A	16.050 B	17.592		
L.S.D.(%)					L:S:D.(%) Genotype: 2.043				

Table 3. Correlation Analysis Between Plant and Quality Factors in Soybean

	Plant Height	Pod Number	Grain Number	Grain Weight
Pod Number	0,144ns			
Grain Number	0,371**	0,446**		
Grain Weight	0,362**	0,117ns	0,540**	
Yağ oranı	0,005ns	-0,081ns	-0,246*	-0,011ns

Bi-plot analysis included in PCA (Principal Component Analysis) is an important analysis in terms of showing the explainability of the effect amount of the data examined in agricultural research and the variability characteristics of the examined elements. The factor is the reduction analysis with fewer variables. In our study, Bi-plot analysis between plant and quality elements examined in soybean varieties with and without bacteria is shown in Figure 1. As can be seen in the figure, diametrically opposite values were obtained between the yield components obtained from bacteria and control. Except for the oil ratio, the positive reaction of the other factors to the bacterial application can be explained by the fact that these factors are in the same group as the bacteria. Therefore, it can be said that bacterial application has a positive effect on other factors except plant height, protein rate and oil rate and causes an increase. Although decision tree analysis is a widely used analysis in the field of social science, its use in agricultural studies is quite new. The decision tree helps to reveal the effectiveness levels of these elements by making a systematic analysis of the examined elements. It reveals the amount of the dependent variable in the independent variables and its potential to occur, in a hierarchical manner, by revealing the degree of influence of the independent variables that affect the determined dependent variable (Pal &

Mather, 2003). In our study, the independent variables on grain weight in the plant are given in the decision tree of the city of effect. In the decision tree in the figure, it was determined that the main factor on the grain weight in the plant was the number of grains in the plant. When the number of grains in the plant are more than 135, the grain weight is 16.121 grams; It was determined that the grain weight of the plant was 14 grams when the number of grains were between 114-136. Likewise, when the number of grains in the plant are between 85-114, the grain weight is 11.137 grams; If they are less than 85, the grain weight was determined to be 8.927 grams. It has also been shown that plant height has an effect on grain weight in the decision tree, but this effect has an effect when the number of grains are above 85. It has been revealed that when the number of grains are between 114-136, the effect of plant height is felt and the grain weight varies between 9.298 and 14.728 grams. Likewise, when the number of grains are between 85 and 114, it has been determined that it affects the plant height and the grain weight varies between 8.540 and 10,468 grams ( $R^2=0.558$ ). Therefore, according to the decision tree result, it was determined that the number of grains in the plant and plant height in a hierarchical manner, especially the number of grains in the plant, the number of grains in the plant and the height of the plant affect the grain weight in the plant.

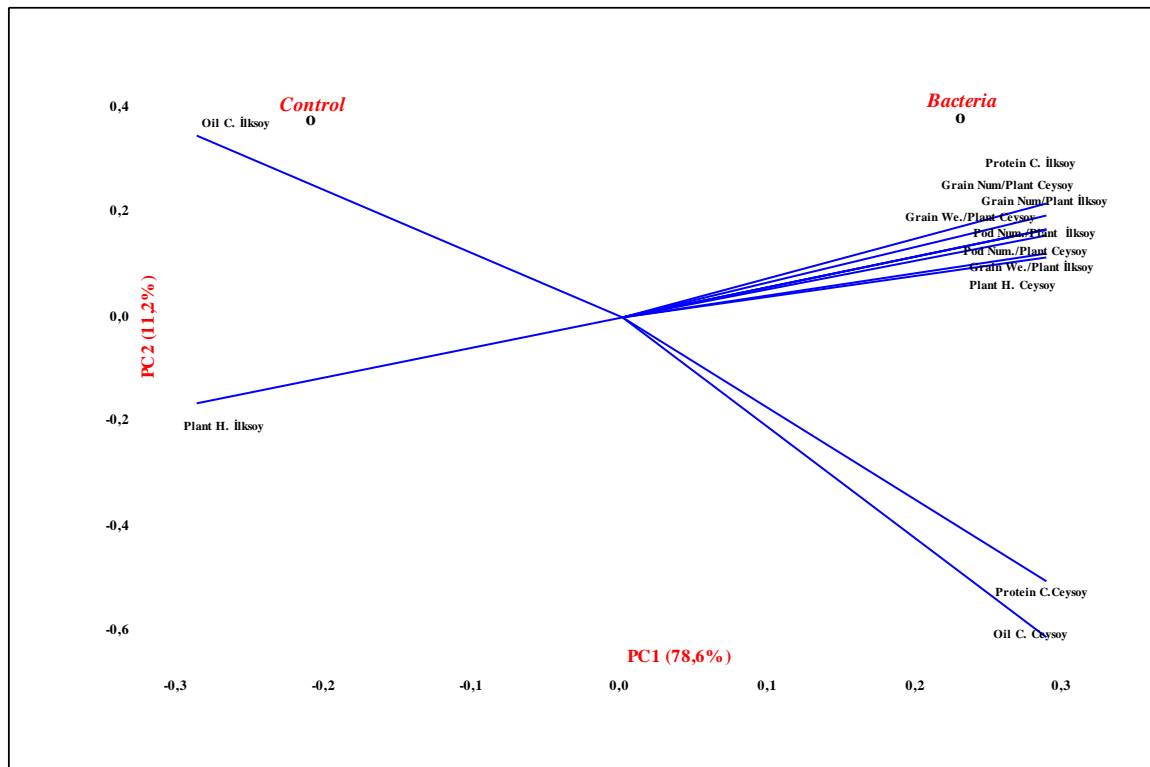


Figure 1. Bi-Plot Analysis of Plant and Quality Elements Examined in Soybean

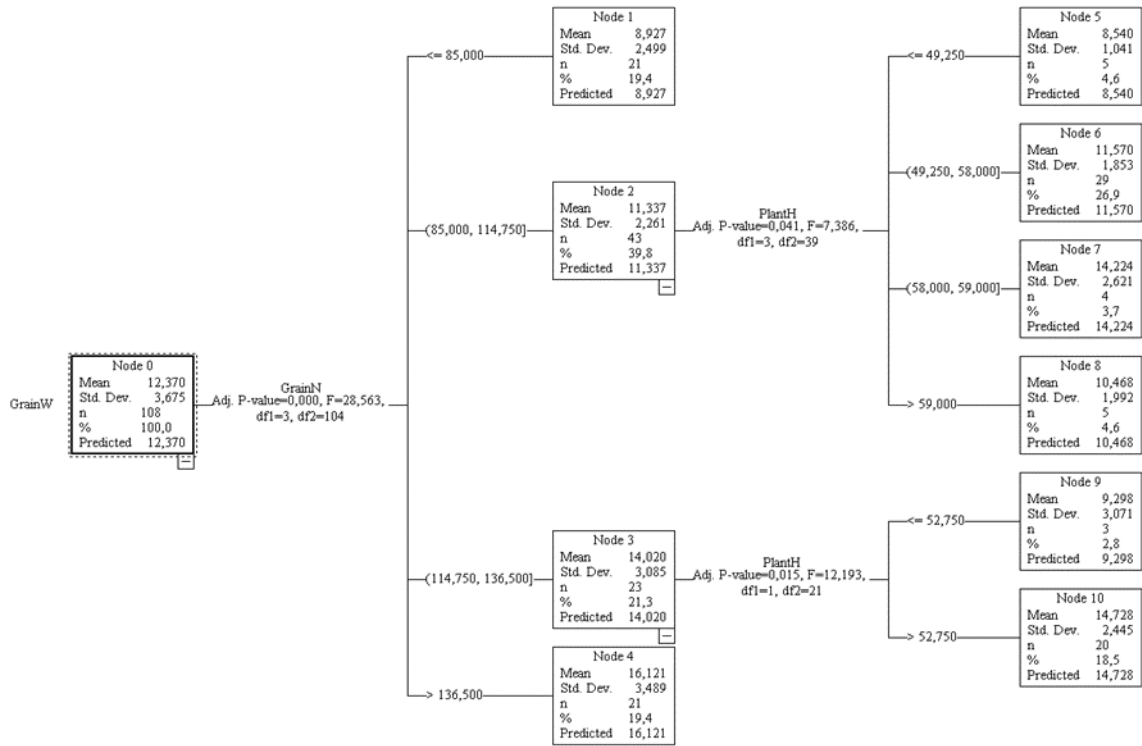


Figure 2 . Decision Tree Showing The Effect of Independent Variables on The Dependent Variable in Soybean

#### 4. Conclusions and Recommendations

Soybean plant is a promising plant in the world with its high oil content and protein content, which has an important potential in meeting the protein needs of both the oil industry and the food industry, and as a feed plant in livestock. It is a plant that is not sufficiently included in soybean breeding programs and is highly needed to develop high yielding quality varieties resistant to biotic and abiotic stresses. Therefore, the introduction of soybean varieties, which will be revealed through breeding programs to be developed, will both increase the income of the farmer and provide important input to the food industry, and most importantly, will provide added value to the country's economy. In our world, which is getting polluted day by day, the use of artificial inputs such as chemical pesticides, hormones and artificial fertilizers increase efficiency as well as cause environmental pollution to a large extent. Therefore, the use of natural inputs are increasing day by day. The use of this type of inputs will prevent the formation of environmental pollution and will make a significant contribution to the long-term national economies by enabling sustainable agriculture. In this context, microbial fertilizers will accelerate the reduction of environmental pollution and increase sustainable yield. Microbial fertilizer application is also an important application to be included in organic agriculture. With the application of microbial fertilizers, it is highly likely that it will gain momentum in organic agriculture as well as traditional agriculture. In this study, it was determined that the application of bacteria caused an increase in the number of pods in the plant and the number of grains in the plant, which is very effective on the grain weight of the grain yield, which is one of the main elements of the yield, especially considering the bacterial study as the main factor. In addition,

although Ceysoy variety was determined as a variety with high yield potential compared to İlksoy variety, it was determined that İlksoy variety with high oil content could be used in oil production in terms of oil yield. Therefore, it has been revealed that there are varieties that can be used to meet the need for roughage in the food industry, oil industry and animal husbandry. According to the results of both correlation and bi-plot analysis, fertilizer application positively affects the number of seeds in the plant, the number of pods and the grain weight, and the number of pods and grains in the plant are effective factors in terms of grain weight, as well as the height of the high variety plant is important and the grain weight in the plant is also affected. In the decision tree analysis, the factors affecting the effective yield factors on the grain weight were determined as the number of seeds per plant and plant height. As a result, while İlksoy and Ceysoy varieties were determined as varieties that can be used in soybean production, it was revealed that they definitely needed microbial fertilizers. Although soybean breeding programs must be developed and increased in number, new varieties must be developed and brought into production. Considering the factors of plant height, number of pods per plant, number of grains per plant and weight in the breeding programs carried out will play an effective and successful role in increasing the effectiveness and success of breeding programs. The PGPR microbial fertilizer seed coating, which has a non-symbiotic effect, fixes the free nitrogen in the air and converts the phosphate in the soil into a form that the plant can take by helping to dissolve some important trace elements such as phosphorus and iron-zinc, which are useful for the plant, by solubilizing the phosphate in the soil in an unsuitable form for the plant increases its importance in nutrition. Although more detailed studies are needed on this subject, it will help to analyze the subject better.

In our study, soybean (İlksoy and Ceysoy varieties) planting was tried for the first time in Konya Altınekin region, and it is thought that it can be cultivated with factors such as seed coating and its entry into the region as a new alternative agricultural product may contribute to the producers economically.

## 5. Acknowledge

Thanks to Beta Ziraat ve Ticaret Inc. and Konya Food and Agriculture University which has supported the realization of this study.

## References

- Altınyüzük, H. (2017). *Soya çeşitlerinin Çukurova koşullarında II. ürün olarak verim ve kalite özelliklerinin incelenmesi*. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,
- Arioğlu, H. (2007). Yağ Bitkileri Yetiştirme ve Islahı Ders Kitapları Yayın No: A-70. *Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ofset Atölyesi, 204s., Adana*.
- Baresel, J., Zimmermann, G., & Reents, H. J. E. (2008). Effects of genotype and environment on N uptake and N partition in organically grown winter wheat (*Triticum aestivum* L.) in Germany. *163(3)*, 347-354.
- Büyük, İ., Soydam-Aydın, S., Aras, S. J. T. B. o. H., & Biyoloji, E. B. T. H. v. D. (2012). Bitkilerin stres koşullarına verdiği moleküler cevaplar. *69(2)*.
- Divakara, B., Upadhyaya, H., Wani, S., & Gowda, C. L. J. A. E. (2010). Biology and genetic improvement of *Jatropha curcas* L.: a review. *87(3)*, 732-742.
- Dobereiner, J., Urquiaga, S., & Boddey, R. M. (1995). Alternatives for nitrogen nutrition of crops in tropical agriculture. In *Nitrogen Economy in Tropical Soils* (pp. 338-346): Springer.
- Fernández, L. A., Zalba, P., Gómez, M. A., & Sagardoy, M. A. (2007). Phosphate-solubilization activity of bacterial strains in soil and their effect on soybean growth under greenhouse conditions. *Biology and Fertility of Soils*, *43(6)*, 805-809.
- Ibrahim, E. (2015). Effect of some treatments on seed health and viability of soybean. *Plant Pathology Journal*, *14(4)*, 158.
- Illmer, P., & Schinner, F. (1992). Solubilization of inorganic phosphates by microorganisms isolated from forest soils. *Soil Biology and Biochemistry*, *24(4)*, 389-395.
- Khoshgoftarmanesh, A. H., Schulin, R., Chaney, R. L., Daneshbakhsh, B., & Afyuni, M. J. A. f. S. D. (2010). Micronutrient-efficient genotypes for crop yield and nutritional quality in sustainable agriculture. A review. *30(1)*, 83-107.
- Kubota, A., Hoshiba, K., & Bordon, J. (2008). Effect of fertilizer-N application and seed coating with rhizobial inoculants on soybean yield in eastern Paraguay. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, *32(4)*, 1627-1633.
- Pal, M., & Mather, P. M. J. R. s. o. e. (2003). An assessment of the effectiveness of decision tree methods for land cover classification. *86(4)*, 554-565.
- Pekşen, E., & Gülümser, A. J. A. T. B. D. (2005). Bazı Fasulye (*Phaseolus vulgaris* L.) Genotiplerinde Verim ve Verim Unsurları Arasındaki İlişkiler ve Path Analizi. *20(3)*, 82-87.
- Peoples, M. B., & Craswell, E. T. (1992). Biological nitrogen fixation: investments, expectations and actual contributions to agriculture. *Plant and soil*, *141(1-2)*, 13-39.
- Peske, F. B., Baudet, L., & Peske, E. (2009). Produtividade de plantas de soja provenientes de sementes tratadas com fósforo. *Revista Brasileira de Sementes*, *31(1)*.
- Rodríguez, H., & Fraga, R. (1999). Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion. *Biotechnology advances*, *17(4-5)*, 319-339.
- Schlüter, U., Mascher, M., Colmsee, C., Scholz, U., Bräutigam, A., Fahnenstich, H., & Sonnewald, U. J. P. P. (2012). Maize source leaf adaptation to nitrogen deficiency affects not only nitrogen and carbon metabolism but also control of phosphate homeostasis. *160(3)*, 1384-1406.
- Umar, S., & Nutrition, M. J. J. o. P. (2002). Genotypic differences in yield and quality of groundnut as affected by potassium nutrition under erratic rainfall conditions. *25(7)*, 1549-1562.



# **Ekin Güvesi, *Syringopais tempratella* (Lepidoptera: Scythrididae)'nin Buğday'da Verim Komponentlerine Etkisi**

Mehmet Duman<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> Zirai Mücadele Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Diyarbakır, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-4945-6757), [mduman\\_53@hotmail.com](mailto:mduman_53@hotmail.com)

(İlk Geliş Tarihi 29 Temmuz 2021 ve Kabul Tarihi 20 Eylül 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.975964)

**ATIF/REFERENCE:** Duman, M. (2021). Ekin Güvesi, *Syringopais tempratella* (Lepidoptera: Scythrididae)'nin Buğday'da Verim Komponentlerine Etkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (27), 466-470.

## **Öz**

Buğday, insan beslenmesi açısından büyük bir öneme sahiptir. Zararlı böcekler buğday üretimini sınırlayan en önemli etkenlerden birisidir. Ekin güvesi, Diyarbakır ili hububat alanlarında kalite ve kantite kaybına neden olan zararlılardan biridir. Bu çalışma Diyarbakır İli Hazro ilçesi Sarıçanak köyü üretici tarlasında 2017 yılında yürütülmüştür. Zararlıya karşı Chlorpyrifos-ethyl aktif maddeli preparat etkili aktif ilaçlı parselde ilkbaharda 28/4/2017 tarihinde parsellere uygulanmıştır. Çalışmada ekin güvesi larvalarının ekmeçlik yumuşak buğday olan "Cendere" isimli çeşitte zararlı ile bulaşık ve zararlı ile bulaşık olmayan sağlam danelerde neden olduğu verime etkileri araştırılmıştır. Yapılan istatistik analiz sonucuna göre; ilaçlı ve ilaçsız parseller arasında başak sayısı, başakta tane sayısı, başak verimi, başak uzunluğu, yaş glüten miktarı bakımından istatistik olarak önemli farklılıklar olduğu, rutubet, hektolitre ağırlığı, protein miktarı, sedimentasyon ve bin tane ağırlığı bakımından ise istatistik olarak önemli bir farklılık görülmemiştir. İlaçsız parsellerde başak sayısı 132.92 olurken ilaçlı olanda bu değer 152.58, ilaçsız parsellerde başaktaki tane sayısı 5751 olurken ilaçlı olan parselde bu değer 6596, ilaçsız parsellerde başak verimi 228,2 olurken ilaçlı olan parselde bu değer 275,8, ilaçsız parsellerde başak uzunluğu 1135 olurken ilaçlı olan parselde bu değer 1375, ilaçsız parsellerde yaş glüten miktarı 19,733 olurken ilaçlı olan parselde bu değer 23,267 ve ilaçsız parsellerde 23,33 olurken ilaçlı olan da bu değer 33,33 olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak ekin güvesi larvalarının buğdayda zararlı oldukları ve ürün kayıplarına neden oldukları belirlenmiştir. Hububatta ekin güvesi ile mücadelede entegre mücadele yaklaşımı çerçevesinde öncelikle kültürel önlemlerin tercih edilmesi gerekmektedir. İlaç gerekiyorsa selektif ve az zehirli ilaçların seçimine özen gösterilmelidir. Zararlı larvalarının ölmesini sağlamak için hasattan sonra toprağın derin bir sürümü yapılmalı, bulaşık tarlalara en az iki yıl hububat ekilmemelidir.

**Anahtar Kelimeler:** Ekin güvesi, Buğday, Verim kaybı, Mücadele

## **The Effect of Cereal Leaf Miner, *Syringopais temperatella* (Lepidoptera: Scythrididae) on Yield Components in Wheat Plant**

### **Abstract**

Wheat has a great importance in terms of human nutrition. Pests are one of the most important factors limiting wheat production. Cereal leaf miner is one of the pests that cause quality and quantity loss in the grain fields of Diyarbakır province. This study was carried out in the producer field of Sarıçanak village, Hazro district of Diyarbakır province, in 2017. The preparation with Chlorpyrifos-ethyl active substance against the pest was applied to the plots infested with the pest on 28/4/2017 in the spring in the plot with active pesticide. The effects of the larvae of the cereal leaf miner on the yield of a bread soft wheat variety named Cendere on infected and non-infected grains were investigated. According to the results of the statistical analysis between the pesticide-treated and pesticide-free plots, it was determined that there were statistically significant differences in terms of number of ears, number of grains per ear, ear yield, ear length, wet gluten content but there was no statistically significant difference in terms of humidity, hectoliter weight, protein amount, sedimentation and thousand grain weight. While the number of spikes in the plots without pesticides was 132.92, this value was 152.58

\* Sorumlu Yazar: [xxxx@xxx.xx.xx](mailto:xxxx@xxx.xx.xx)

in the plots with pesticides, while the number of grains in the spike was 5751 in the plots without pesticides, this value was 6596 in the plots with pesticides. While the spike yield is 228.2 in the plots without pesticide application, this value is 275.8 in the plots with pesticides, while the spike length is 1135 in the plots without pesticides, this value is 1375 in the plots with pesticides, while the wet gluten value is 19.733 in the plots without pesticides, this value is found in the plots with pesticides. while the value was 23,267 and 23,33 in the plots without pesticide application, this value was determined as 33,33 in the plots with pesticides. As a result, it was determined that cereal leaf miner larvae are pest in wheat and cause product losses. In the control against cereal leaf miner in cereals, first of all, cultural measures should be preferred with an integrated approach. If pesticide is required, care should be taken to select selective and less toxic pesticides. A deep plowing of the soil should be made after harvest to ensure that the pest larvae die, wheat should not be planted in the fields infested with pests for at least two years.

**Keywords:** Cereal leaf miner, Wheat, Yield loss, Pest control.

## 1. Giriş

Buğday, insan beslenmesinde kullanılan kültür bitkileri arasında hem ekiliş hem de üretim bakımından ilk sırada yer almaktadır. Ülkemizde ortalama 7.668.878 ha alanda buğday ekimi yapılmakta ve bunun karşılığında 21.500.000 ton üretim ve ortalama 280 kg/da verim ile buğday üretimi yapılmaktadır. Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde toplam ekili alan 1.206.869 ha alan, üretimi 3.718.819 ton ve verimi 314,5 kg/da'dır (Anonim,2017).

Bölge halkı için önemli bir gelire sahip olan buğday üretiminin de diğer ürünler gibi bitki koruma sorunları bulunmaktadır. Buğday'da ana zararlı süne olsa da (Lodos, 1961; Kılıç ve ark., 1973; Özkan ve Babaroğlu, 2015; Alaserhat ve Canbay, 2018; Mutlu ve ark., 2016; Mutlu, 2019; Mutlu ve ark.,2019) bunun dışında üretimini sınırlayan en önemli zararlılardan biriside ekin güvesi *Syringopais temperatella* Led (Lepidoptera: Scythridae)'dir (Şekil 1 ve 2). Larva zararının en yüksek düzeye çıktığı Şubat-Mart aylarında yapılması gereken mücadelenin hava şartlarının uygun olmaması yüzünden gecikmesi, tarlalarda önemli oranda verim azalmasına ve hatta bazen ancak tohumluğun geriye alınabildiği zarara sebep olmasından dolayı bu çalışma ele alınmıştır. Bölge illerinde hububat tarımı yapan üreticilerin çoğunun toprak işlemeyi yetersiz yapması, monokültür buğday ekilmesinin zararlı düzeyini arttırdığı görülmüştür.

Zararının yaprak içinde beslenmesi, mücadele yapılsa bile zararının tarlada varlığını devam ettirmesi, buğday ve arpaların bu zararlı larvaları tarafından yüksek oranda zarara maruz kaldıkları, kültürel tedbirlerin yetersiz olduğu, ilkbaharda gereken mücadelenin hava şartlarının uygun olmaması yüzünden geciktiği belirtilmiş ve bu dönemden sonra yapılan mücadelenin yeterli etkide olmadığı, eylül ayında hasattan sonraki toprak işleminin ve 15 cm'den daha az olmayan diskli toprak işleminin zararlı yoğunluğunu azalttığı, buğday ve arpa çeşitlerinin ekin güvesi'ne karşı hassasiyeti belirlenmiştir (Al-Abbadi, 2008, Morris, 1950; Duran ve ark., 1971; Jemsi ve ark. ,2002). Hem yurt içi hem de yurt dışında bazı araştırmacılar bu zararının popülasyon takibini yapmışlardır (Kaya, 1976; Jemsi ve ark.,2002; Koyuncu ve Kurcman, 1977; Jemsi ve Radjabi, 2003; Jemsi, 2006; Al-Zyoud, 2007; Gözüaçık ve ark.,2008; Ghabeish ve ark., 2014; Zoya ve ark., 2017).

Türkiye'de Ekin güvesi ile ilgili olarak; buğday ve arpa alanlarından larvalar toplanarak bunlardaki parazitlenme oranları, mevcut ilaçlara alternatif olabilecek ilaçlar araştırılmış, toprakta canlı kalma süresi, morfolojisi, yaşam döngüsü, biyolojisi ve

kimyasal olarak önlenmesi üzerine değişik aktif maddeli ilaçlar denenmiştir (Duran ve ark.,1979; Gözüaçık ve ark.,2008).

Yürütülen bu çalışma ile ekin güvesi'nin ilaçlı ve ilaçsız parsellerde durumu araştırılmış, buğday bitkisinde başak sayısı, başakta tane sayısı, başak verimi, başak uzunluğu, yaş gluten, rutubet, hektolitre ağırlığı, protein miktarı, sedimantasyon ve bin dane gibi bazı verim komponentlerine etkisi araştırılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Materyal

Çalışma materyalini Diyarbakır İli Hazro ilçesi üretici tarlasındaki ekin güvesi larva ve erginleri oluşturmuştur. Perten Inframatic 9500 NIR Tahıl Analiz Cihazı, etilen glikol, plastik bardak, kavanoz, kese kâğıdı, etil asetat, kurutma kâğıdı, preparat iğnesi, ¼ m<sup>2</sup> çerçeve, stereo mikroskop, atrap, kürek ve toprak araştırmanın diğer materyallerini oluşturmuştur.

#### 2.1.1. Metod

Diyarbakır ili Hazro ilçesi Sarıçanak köyünde ekin güvesi ile yüksek düzeyde bulaşık olan buğday ekili (Cendere çeşidi-beyaz ekmeçlik buğday) üretici tarlası seçilmiştir. Üretici tarlasında nohut-buğday münavebesi uygulanmaktadır. Üretici, tarlada yabancı otun aktif büyüme döneminde (2-4 yapraklı, buğdayın kardeşlenme dönemi sonunda) genellikle mart ayının son haftasında geniş yapraklı yabancı otlara karşı uygulanan tribenuron-methyl (1.5 gr/da) ve dar yapraklı yabancı otlara karşı kullanılan 30 g/L Mesolsulfuron-methyl + 90 g/L Mefenpyr-diethyl etken maddeli herbisitleri kullanmıştır. Aynı yıl (2017) 26 Haziran'da buğday hasat edilmiştir.

#### 2.2.1. Verim ve verim komponentlerinin belirlenmesi

Verim ve verim komponentlerini araştırmak için bulaşık alanda deneme kurulmuş (bir karakterde bulaşma sıfır olacak ki bu etkili bir ilaçlama (ticari adı:MASSBAN 4 EC (İMİL),480 g/l Chlorpyrifos-ethyl) ile sağlanmış; diğer parsel doğal bulaşma) ve sonuçta elde edilen bulgular değerlendirilmiştir. Her bir parsel büyüklüğü 0.25 m<sup>2</sup> olarak alınmıştır. Bunun için aşağıda verilen bitki boyu, başak uzunluğu, maksimum sap sayısı, başak sayısı, dane uzunluğu ve başak verimi kriterlerine bakılmıştır.

**I. Bitki boyu (cm):** Her parselde rastgele seçilmiş 20 bitkide sapın en alt noktasından başakta yer alan tepe başakçığının ucuna kadar olan uzunluk (cm) ölçülerek hesaplanmıştır.

**II. Başak uzunluğu (cm):** Her parselde rastgele seçilmiş 20 bitkide başağın sapa bağlandığı boğumdan tepe başakçığının uç noktasına kadar olan uzunluk (cm) ölçülmüştür.



**III. Maksimum sap sayısı (adet/m<sup>2</sup>):** Kardeşlenmenin son bulduğu sapa kalkma dönemi başlangıcında, her parselde parsel ortasındaki iç sıralardan ikisinde birer metrelik mesafede yer alan bütün saplar sayılarak ortalaması alınmış ve m<sup>2</sup> cinsinden değeri hesaplanmıştır.

**IV. Başak sayısı (adet/m<sup>2</sup>):** Başaklanma dönemi sonunda, her parselde parsel ortasındaki iç sıralardan ikisinde birer metrelik mesafede yer alan 1 m<sup>2</sup>'deki başaklar (4 çerçeve) sayılarak ortalaması alınmış ve m<sup>2</sup> cinsinden değeri hesaplanmıştır.

**V. Başakta dane uzunluğu (cm/başak):** Her parselde rastgele seçilmiş yirmi başaktaki toplam başakçık uzunluğu ölçülerek elde edilmiş rakam bulunmuştur.

**VI. Başakta dane sayısı (adet/başak):** Her parselde rastgele seçilmiş 20 başak harmanlanarak sayılmış, sayım sonucu bulunan rakam kaydedilmiştir.

**VII. Başak verimi (g/başak):** Alınan başak örneklerine ait bütün danelerin ağırlıkları hassas terazide ( $\pm 0,01$  g) tartılarak elde edilen değer başak sayısına bölünmesi ile hesaplanmıştır. Hektolitre ağırlığı (kg/hl): Bir litrelik özel "hektolitre kabı" nı dolduran danenin ağırlığı 100 ile çarpılarak bulunmuştur.

Ayrıca "Pertem Inframatic 9500 NIR Tahıl Analiz Cihazı" kullanarak yaş gluten, rutubet, hektolitre ağırlığı, protein miktarı, sedimantasyon ve bin tane ağırlığı bakımından değerlendirilmiştir.

### 2.2.2. İstatistik Analiz

İstatistiki değerlendirmeler Minitab 18 paket programı kullanılarak paired-t testi ile yapılmıştır.

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

### 3.1. Verim ve verim komponentlerinin belirlenmesi

Diyarbakır ili Hazro ilçesi Sarıçanak köyünde ekin güvesi ile bulaşık olan buğday tarlasından elde edile bulgular aşağıda verilmiştir.

Tablo 1. İlaçlı ve ilaçsız parsellerdeki analiz sonuçları

	İlaçsız parsel	İlaçlı parsel
Başak sayısı	132,92±23,64-b	152,58±16,13-a
Başakta tane sayısı	5751±1142-b	6596±1029-a
Başak verimi	228,2±42,8-b	275,8±29,9-a
Başak uzunluğu	1135±197,4-b	1375±161,3-a
Yaş gluten	19,733±0,757-b	23,267±0,643-a
Rutubet	8,700±0,346-a	8,700±0,300-a
Hektolitre	83,267±0,153-a	83,800±0,794-a
Protein	10,233±0,321-a	11,667±0,404-a
Sedimantasyon	23,33±3,21-a	33,33±5,03-a
Yaş gluten	19,733±0,757-b	23,267±0,643-a
Bin tane	41,250±1,392-a	41,000±1,323-a

İlaçlı ve ilaçsız parseller arasında "başak sayısı" açısından istatistiki olarak önemli farklılıklar bulunmuştur ( $t=2,90$ ,  $P<0,05$ ). İlaçsız parsellerde başak sayısı 132.92 olurken ilaçlı olanda bu değer 152.58 olarak belirlenmiştir. Başaktaki tane sayısı açısından önemli farklılıklar bulunmuş ( $t=2,43$ ,  $P<0,05$ ) ve ilaçsız parsellerde başaktaki tane sayısı 5751 olurken ilaçlı olan parselde bu değer 6596 olarak belirlenmiştir. Başak verimi açısından önemli farklılıklar bulunmuş ( $t=3,69$ ,  $P<0,05$ ) ve ilaçsız parsellerde başak verimi 228,2 olurken ilaçlı olan parselde bu değer 275,8 olarak belirlenmiştir. Başak uzunluğu açısından



Şekil 1. Diyarbakır Hazro ilçesi Sarıçanak köyü buğday tarlasında Ekin güvesi'nin yapraktaki larvası

önemli farklılıklar bulunmuş ( $t=4,14$ ,  $P<0,05$ ) ve ilaçsız parsellerde başak uzunluğu 1135 olurken ilaçlı olan parselde bu değer 1375 olarak belirlenmiştir. Yaş gluten açısından önemli farklılıklar bulunmuş ( $t=5,08$ ,  $P<0,05$ ) ve ilaçsız parsellerde yaş gluten değeri 19,733 olurken ilaçlı olan parselde bu değer 23,267 olarak belirlenmiştir (Tablo 1).

Ancak ilaçlı ve ilaçsız parseller arasında "rutubet" açısından istatistik olarak önemli bir farklılık görülmemiştir ( $t=0,00$ ,  $P>0,05$ ). İlaçsız parsellerde rutubet 8,700 olurken ilaçlı olan da bu değer 8,700 olarak belirlenmiştir. Hektolitre açısından önemli farklılıklar görülmemiş ( $t=1,14$ ,  $P<0,05$ ), ilaçsız parsellerde 83,267 olurken ilaçlı olan da bu değer 83,800 olarak belirlenmiştir. Protein açısından önemli farklılıklar görülmemiş ( $t=3,53$ ,  $P>0,05$ ), ilaçsız parsellerde 10,233 olurken ilaçlı olan da bu değer 11,667 olarak belirlenmiştir. Sedimantasyon açısından önemli farklılıklar görülmemiş ( $t=2,12$ ,  $P>0,05$ ), ilaçsız parsellerde 23,33 olurken ilaçlı olan da bu değer 33,33 olarak belirlenmiştir. Bin tane açısından önemli farklılıklar görülmemiş ( $t=0,19$ ,  $P>0,05$ ), ilaçsız parsellerde 41,250 olurken ilaçlı olan da bu değer 41,000 olarak belirlenmiştir (Tablo 1).

Bazı araştırmacılar da buğdayın, mercimek ve nohut benzeri bitkilerle münavebe uygulamasının zararlıyı engellediği ile ilgili çalışmalar yürütmüşlerdir (Al-Zyoud, 2012; Duran ve ark.,1979; Al-Zyoud ve ark. 2009; Al-Zyoud, 2012; Al-Zyoud, 2013; Al-Zyoud ve ark.,2015).

Bazı araştırmacılar da zararlı larva yoğunluğunun yanısıra toprak yapısı, yağış durumu vb faktörlerinde hububatta zararı arttığı ile ilgili araştırmalar yürütmüşlerdir (Yaman & Jarjes, 1971; Kaya, 1976; Duran ve ark.,1979).

Yukarıda belirtilen araştırmalardan farklı olarak yürüttüğümüz bu araştırma ile verim ve kaliteye etki eden başak sayısı, başakta tane sayısı, başak verimi, başak uzunluğu gibi değerlerin yanında rutubet, yaş gluten, sedimantasyon, protein, bin tane gibi teknolojik kalite kriterleri de ilk defa ortaya konulmuştur.



şekil 2. Buğday tarlasında Ekin güvesi ergini (üstte) ve bitkideki zararı (altta)

#### 4. Sonuç

Sonuç olarak; yapılan istatistik analiz sonucuna göre; ilaçlı ve ilaçsız parseller arasında başak sayısı, başakta tane sayısı, başak verimi, başak uzunluğu, yaş glüten miktarı bakımından istatistiki olarak önemli farklılıklar olduğu, rutubet, hektolitre ağırlığı, protein miktarı, sedimantasyon ve bin tane ağırlığı bakımından ise istatistik olarak önemli bir farklılık görülmemiştir.

Zararlının tarla gözlemler sonucu buğday ve arpanın yapraklarında görüldüğu ve larvaların yapraklarda sararmalara neden oldukları, sonbahar mevsimi yağışlı ancak ilkbaharı kurak geçen yıllarda ekin güvesi larvalarının hububatta zarar yaptığu tespit edilmiştir. Ayrıca bölge illerinde hububat tarımı yapan üreticilerin çoğunun hem toprak işlemeyi yetersiz yapması hem de münavebe uygulamadığu yani monokültür buğday ekimi yapmasının zararlı düzeyini arttırdığu gözlenmiştir.

İlkbaharda *S. tempratella* larvaları toprak içinde pupa dönemini geçirdiğu için sonbaharda iyi bir toprak hazırlığı ve derin sürümün yapılması, eylül ayında hasattan sonraki toprak işleminin ve 15 cm'den daha fazla fazla olması gerektiğu, larva yoğunluğunun hububatta zarara etki eden tek faktör olmadığu bununla birlikte toprak yapısı, yağış durumu vb faktörlerinde etkili olabileceğu düşünölmektedir.

#### 5. Teşekkür

Diyarbakır Ziraî Mücadele Araştırma Enstitüsü Müdürlüğu idari ve teknik elemanlarına, UTAEM Buğday Islahı biriminde çalışan idari ve teknik elemanlarına, buğday ekili tarlasını kullanmamıza ve çalışmaları yapmamıza izin veren ve her türlü desteğu ile yanımızda olan Diyarbakır Hazro ilçesi Sarıçanak köyü çiftçilerinden şakir SÜLEYMANOğLU'na teşekkür ederim.

#### Kaynakça

- Al-Abbadi, S. Y.,2008. Effect of different temperatures on the biological characteristics of the cereal leaf miner, *Syringopais temperatella* Led. (Scythrididae: Lepidoptera). Bulletin of Faculty of Agriculture, Cairo University 2008 Vol.59 No.2 pp.142-147 ref.13,ISSN : 0526-8613.
- Alaserhat, İ.; Canbay, A., 2018. Ağrı ilinde hububat alanlarında zararlı süne, *Eurygaster integriceps* Puton (Hemiptera: Scutelleridae) ve yumurta parazitoiti *Trissolcus grandis* (Thomson 1861) (Hymenoptera: Scelionidae)'in yayılış alanları. Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi, 22(3): 413-419.
- Anonim, 2017. Türkiye istatistik kurumu, bitkisel üretim istatistikleri. (<https://biruni.tuik.gov.tr/bitkiselapp/bitkisel.zul> Erişim tarihi: 22.12.2017).
- Al-Zyoud, F. A.,2007. Investigations on certain biological and ecological parameters of the cereal leaf miner *Syringopais temperatella* Led. (Lepidoptera: Scythrididae). Bulletin of Faculty of Agriculture, Cairo University, Vol.58 No.2 pp.164-172 ref.18, ISSN : 0526-8613.
- Al-Zyoud, F. A.,2012. Effect of field history on the cereal leafminer *Syringopais temperatella* Led. (Lepidoptera: Scythrididae) and its preference to different wheat and barley cultivars. Pakistan Journal of Biological Sciences, Vol.15 No.4 pp.177-185 ref.26, ISSN : 1028-8880.
- Al-Zyoud, F. A.,2013. Towards integrated pest management of the cereal leafminer *Syringopais temperatella* Led. (Lepidoptera: Scythrididae): status, current and future control options. American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences, Vol.13 No.12 pp.1582-1594 ref.82, ISSN : 1818-6769 URL : <http://www.idosi.org/.../1.pdf>
- Al-Zyoud, F.; Hassawi, D.; Ghabeish, I.,2015. Oxalic acid as an alienate factor for wheat and barley resistance to cereal leafminer *Syringopais temperatella* (Lederer, 1855) (Lepidoptera: Scythrididae) SHILAP Revista de Lepidopterología, Vol.43 No.169 pp.113-123 ref.123, ISSN : 0300-5267.
- Duran, M.; Altınayar, G.; Koyuncu, N.; Dortbudak, Y.,1979. Investigations on survival in the soil, crop loss and control measures relating to the cereal leaf-miner (*Syringopais temperatella* (Led.)) in a cereal field in Isparta. Bitki Koruma Bulteni, Vol.19 No.1 pp.1-15 ref.11, ISSN : 0406-3597.
- Ghabeish, I. H.; Al-Zyoud, F. A.; Hassawi, D. S., 2014. Quantifying key variables of damage to wheat and barley by *Syringopais temperatella* (Lepidoptera: Scythrididae). Revista Colombiana de Entomología, Vol.40 No.2 pp.170-175 ref.18, ISSN : 0120-0488
- Gözüaçık, C.; Erdoğan, Ö. Ç.; Beyarslan, A.,2008. *Syringopais temperatella* Lederer, 1855 and its parasitoids in wheat and

- barley fields in the Southeast Anatolian Region of Turkey. *Phytoparasitica*, Vol.36 No.5 pp.489-490 ref.7, ISSN : 0334-2123.
- Jemsi, G. H.; Shojai, M.; Radjabi, G. H.; Ostovan, H.,2002. Study on economic population dynamic, biology, host range and economic threshold of cereal leaf miner in Khuzestan. *Journal of Agricultural Sciences - Islamic Azad University* 2002 Vol.8 No.3 pp.Ar1-Ar21, 1-2 ref.36, ISSN : 1562-5559.
- Jemsi, G.; Radjabi, G., 2003. Study on harvesting agronomic measures and effect of chemical application in controlling the cereal leaf miner *Syringopais temperatella* Led. (Lep. Elachistidae) in Khuzestan province. *Applied Entomology and Phytopathology*, Vol.70 No.2 pp.Pe45-61, en13-15 ref.13, ISSN : 0013-8800.
- Jemsi, G.,2006. Determination of economic injury level (EIL) of cereal leaf miner, *Syringopais temperatella* Led. (Lep.: Elachistidae), in Khuzestan province. *Applied Entomology and Phytopathology*, Vol.74 No.1 pp.27-29, Pe19-Pe31 ref.21, ISSN : 1026-5007.
- Kaya, O.,1976. The cereal leaf-miner, *Syringopais temperatella*. Report, CENTO Scientific Programme, pp.49-50.
- Koyuncu, N.; Kurcman, M.,1977. Studies on the control of cereal leaf miner (*Scythris temperatella* Led.) and of annual broad-leaved weeds with insecticide and herbicide combinations in cereal-growing areas. Bölge Zirai Mucadele Arastirma Enstitusu Hububat Zararlilari, Ankara, Turkey. *Bitki Koruma Bulteni*, Vol.17 No.1 pp.60-73 ref.6.
- Morris, H. M. 1950. Control of Cereal Leaf-Miner in Cyprus. Letter | 08 April 1950. (Erişim tarihi:19.04.2019, erişim: <https://www.nature.com/nature/volumes/165/issues/4197>), *Nature* (international journal of science), no:4197,volume 165, Pages:573–574 (1950).
- 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.
- Mutlu, Ç.; Karaca, V.; Tonga, A.; Erol, Ş.; Mamay, M., 2019. Infestation and Damage Caused by Wheat Stem Sawflies (Hymenoptera: Cephidae) to Some Wheat Cultivars in Southeast Anatolia Region, Turkey. *Journal of the Kansas Entomological Society*, 92(1), 359-375.
- Mutlu, Ç. 2019. Wheat Stem Sawflies in the Southeast Anatolia Region of Turkey. *Entomological News*, 128(3): 267–283.
- Özkan, M.; Babaroğlu, N.E., 2015. Süne. Gıda ve Kontrol Genel Müdürlüğü Yayınları, Ses Reklam İletişim ve Basım Hizmetleri, Ankara, 208 s.
- Yaman, I. K. A.; Jarjes, S. J.,1971. Bionomics of the wheat leaf miner, *Syringopais temperatella* Led., in Iraq. *Zeitschrift für Angewandte Entomologie*, Vol.67 No.3 pp.266-272 ref.14, ISSN : 0044-2240
- Yefremova, Zoya, Kravchenko, Vasiliy, Meltzer, Nikolay. 2017. The East-Mediterranean cereal leaf miner *Syringopais temperatella* Lederer and its larval parasitoids in Israel. *Phytoparasitica*, November 2017, Volume 45, Issue 5, pp 707–713 |



# Validation of an elastomeric bearing characterized with finite element hyperelastic models

Faisal Ahmed<sup>1\*</sup>, Fatih Alemdar<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Yıldız Technical University, Faculty of Engineering, Department of Construction, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0002-1799-2558), [faisalalncela@gmail.com](mailto:faisalalncela@gmail.com)

<sup>2</sup> Yıldız Technical University, Faculty of Engineering, Department of Construction, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0002-8752-0310), [falemdar@yildiz.edu.tr](mailto:falemdar@yildiz.edu.tr)

(First received 1 May 2021 and in final form 6 September 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.930964)

**ATIF/REFERENCE:** Ahmed, F. & Alemdar, F. (2021). Validation of an elastomeric bearing characterized with finite element hyperelastic models. *European Journal of Science and Technology*, (27), 471-478.

## Abstract

Elastomeric bearing is a crucial element of a structure. To study these elements' behavior under different loads, a correct strain energy function should be selected to predict the nonlinear hyperelastic behavior accurately. Physical compression test performed on a sample of a steel laminated elastomeric bearing, which is originally used on structure foundation to resist seismic forces. A finite element software was used to simulate physical test for seven different hyperelastic models. Error percentages were also calculated and compared between all models with the experimental data. The results of these seven models were validated in order to select the most fitted form. Multiple models gave an accurate prediction of this element behavior. Reduced Polynomial form was the best choice to model compression tests and the finite element simulation showed an accurate prediction for bearing behavior, the model curve is perfectly fitted with the physical test curve and the maximum error percentage was less than 7% and less than 2% minimum error.

**Keywords:** Elastomeric bearing, Hyperelastic material, Finite element model, Reduced polynomial, Neo-Hooke

## Sonlu eleman hiperelastik modellerle karakterize edilen bir elastomerik mesnedin doğrulanması

### Öz

Elastomerik mesnet, bir yapının çok önemli bir unsurudur. Bu elemanların farklı yükler altındaki davranışını incelemek için, doğrusal olmayan hiperelastik modeli doğru bir şekilde tahmin etmek için doğru bir gerinim enerjisi fonksiyonu seçilmelidir. Sismik kuvvetlere karşı bina temellerinde kullanılan çelik tabakalarla güçlendirilmiş bir elastomerik mesnet numunesi üzerinde gerçekleştirilen fiziksel basınç testi yapıldı. Fiziksel testleri simüle etmek için bir sonlu eleman yazılımı kullanılmıştır. Hata yüzdesi hesaplandı ve test verisiyle yedi model arasında karşılaştırma yapıldı. Bu yedi modelin sonuçları, en uygun formu seçmek için doğrulanmıştır. Birden çok model, bu eleman davranışının doğru bir tahminini verdi. Azaltılmış Polinom formu ise basınç testlerini modellemek için en iyi seçimdi ve sonlu elemanlar simülasyonu, eğri uydurma ve hata yüzdesi bakımından eğilme davranışı için doğru bir tahmin gösterdi.

**Anahtar Kelimeler:** Elastomerik mesnet, Hyperelastic malzeme, Sonlu eleman modeli.

\* Corresponding Author: [faisalalncela@gmail.com](mailto:faisalalncela@gmail.com)

## 1. Introduction

Bearings are elastomeric material reinforced with steel layers; these layers' distributions and thickness depend on the use of the element (**Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.**). The bearing is an element that translates stresses between structure elements while allowing an absolute degree of freedom (Fragnet, 2013). A bridge bearing is usually the element that connects the deck with supports (Fragnet, 2013). Bearings are also used in structure foundations to carry the vertical loads without damaging the structure, especially considering the eccentricity that could occur during the earthquake movements. A large proportion of the world's population dwells in seismically hazardous zones and suffers from earthquakes of varying magnitude (EKŞİ, 2019). These earthquakes cause huge damage to properties and life loss for years. Therefore, bearings are used to reduce horizontal seismic force by using the advantages of the hyperelastic properties.



Figure 1 An elastomeric bearing

Hyperelastic material such as elastomers is a widely used material in various industries, and it has multiple applications (Shahzad et al., 2015). The main mechanical feature of the elastomer family is the extraordinary elasticity. When a load is applied on an elastomer, it can experience significant elongation from its original length and get back to the initial shape after the load is removed. Therefore, elastomers consider as unique materials in civil engineering. The behavior of the elastomeric material is highly nonlinear, and a simple modulus of elasticity that can be predicted from the stress-strain curve is no longer sufficient. Therefore, it is essential to characterize this material to understand its behavior.

This study aims to define and choose the most accurate hyperelastic material model then use it to model a reinforced elastomeric bearing. The most precise model should be able to predict the behavior of this material under different loading conditions. To achieve the objective of this study, ABAQUS CAE 2017 software was used for FE modeling, and then comparison and validation were made between the model results and physical tests.

## 2. Background

Turkey is located at one of the most active earthquake zones called Mediterranean-Alpine-Himalayan. Between 1900 and 2005, the number of earthquakes between the magnitudes 5-5.9 is 1170, 6-6.9 is 155, and 7-8 is 34 (EKŞİ, 2019) (AFAD, 2019). These earthquakes have caused significant loss of life and great damage to human-made structures. Therefore, the concept of seismic isolation began to gain prominence, especially after the

1999 Marmara Earthquake (EKŞİ, 2019). Hyperelastic materials are one of the materials used in these isolation systems to resist seismic forces. Characterization is required to understand the nonlinear behavior of this material.

Abaqus has two main types of models in terms of defining the strain energy function. The first group of models depends on the phenomenological hypothesis, which solves the problem from the aspect of continuum mechanics (Tobajas et al., 2018) (Shahzad et al., 2015). The other type of solution depends on the microscopic structure to characterize the behavior, the material reaction is considered from the aspect of microstructure (Arruda et al., 1993) (Abaqus, 2012). All hyperelastic models share the same input requirements (Abaqus-Docs, 2017), these input data can be evaluated by testing the rubber in a different mode. The appropriate experiments to define a hyperelastic material are not yet clearly defined by national or international standards organizations (Miler, 2004). This difficulty derives from the complicated mathematical models required to represent both the nonlinear and nearly incompressible elastomers' properties (Miler, 2004). Therefore, the evolution of using this material required trial and error rather than basic equations.

### 2.1. The Required Tests

Defining hyperelastic material in FE usually required testing rubber in different modes. FE software documentation gave recommendations for the appropriate way to perform the required tests to get better input data (Abaqus-Docs, 2017). Four types of deformation modes are required to define this material:

#### 2.1.1. Uniaxial tension and compression

The uniaxial test is done by stretching or compress a specimen from two sides. However, pure compression is generally hard to achieve because of the friction between specimen and the test device.

#### 2.1.2. Biaxial tension and compression

An equal tensile force is applied to all specimen sides. The biaxial machine is not commonly available due to high prices and low uses. Therefore, several researchers developed custom fixtures to use a uniaxial test machine in performing this test (Barroso et al., 2012) (Medellín et al., 2017) (Crocker et al., 1999).

#### 2.1.3. Planar tension (also known as pure shear)

To achieve pure shear, the stretching should also be from the wider two sides; the specimen should have more width than the height. In fact, the width should be at least ten times more than the height of the specimen (Miler, 2004).

#### 2.1.4. Volumetric compression

A volumetric test is used to evaluate bulk modulus and compressibility. Force is applied to a fully confined specimen to measure Bulk modulus, which is usually 2-3 greater than the shear modulus (Miler, 2004).

Figure 2 shows more details about the required tests. For ideal incompressible hyperelastic material, the following test modes have become identical: uniaxial tension with biaxial compression, uniaxial compression with biaxial tension, and planar tension with planar compression. With these corresponding test modes, only three independent deformations are required to be evaluated. Therefore, most of the available researches depends on

the tension mode of these tests except for volumetric. The combination of these four tests data can give a good characterization of the hyperelastic material behavior.

structural damages under high strain levels. Therefore, high stiffness elastomeric material is required in this type of element.

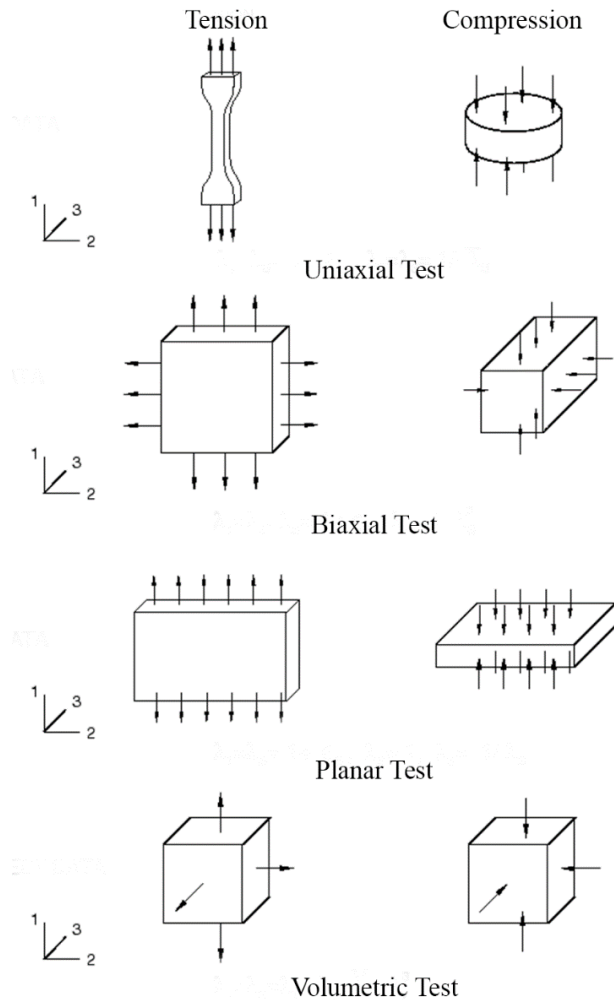


Figure 2 The required tests to define a hyperelastic material (Abaqus-Docs, 2017)

Several studies for defining hyperelastic models are available, and each research has a different material and test setup. Therefore results vary between researchers. Most of these studies only defined the hyperelastic model without an application on elastomeric elements. In the next section, several hyperelastic definition tests and applications will be reviewed.

### 3. Compression Test

A compression test was made on a sample of elastomeric bearing. An elastomeric bearing sample cut from the original bearing. The sample's dimensions are 100 mm by 100 mm with a total thickness of 62 mm. It consists of three natural rubber elastomeric layers and four steel layers. The thicknesses of the rubber and the steel parts are 42 mm and 20 mm, respectively. Instron 8803 Fatigue Testing System was used to perform this experiment. This system has a 500 kN static and dynamic load capacity. This feature allows us to apply dynamic forces properly on the specimen under a specific frequency. The compression load is executed to this sample until the structural failure occurs. As expected for a hyperelastic material, a nonlinear stress-strain curve was obtained. The stiffness was also increased as the compression load increased since the bearing may suffer

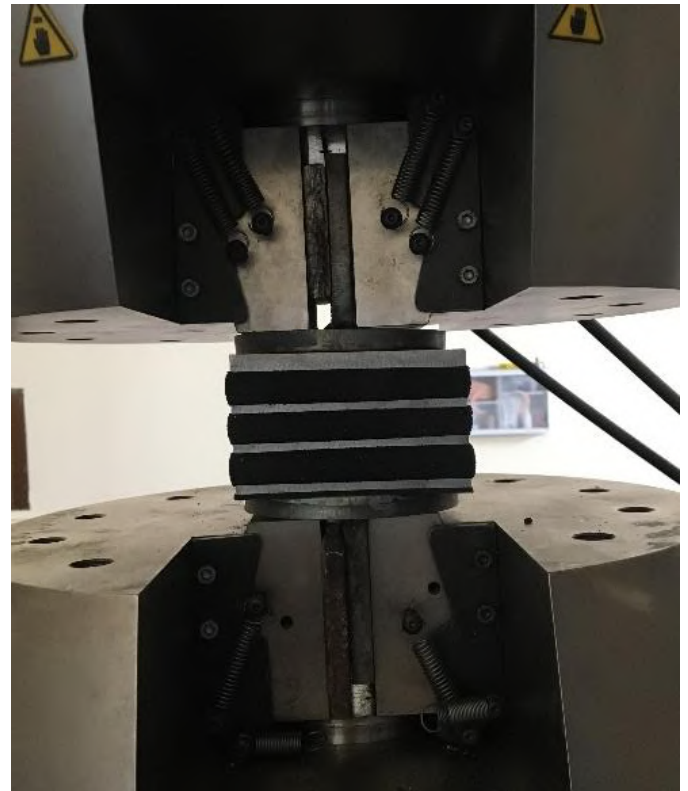


Figure 3 Specimen through testing shows the specimen in the test machine.

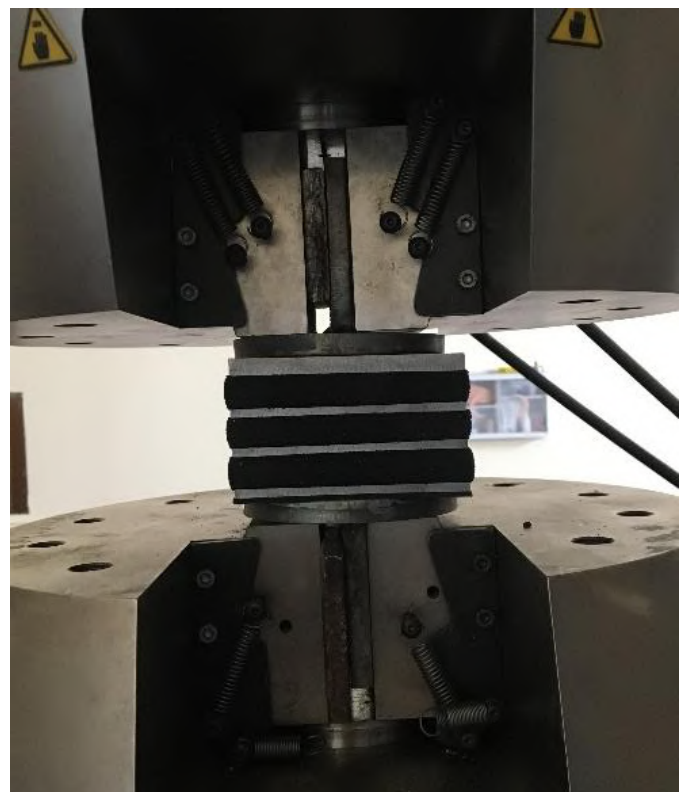


Figure 3 Specimen through testing (EKŞİ, 2019)

After 36 percent of strain or 15.12 mm shortening from the total 42 mm rubber thickness at a stress of 22 MPa, bonding failure between the elastomer layers and steel parts started to

appear in the tension area. As expected from the hyperelastic behavior of the elastomer material layers, the nonlinear stress-strain graph is obtained as shown in Figure 4.

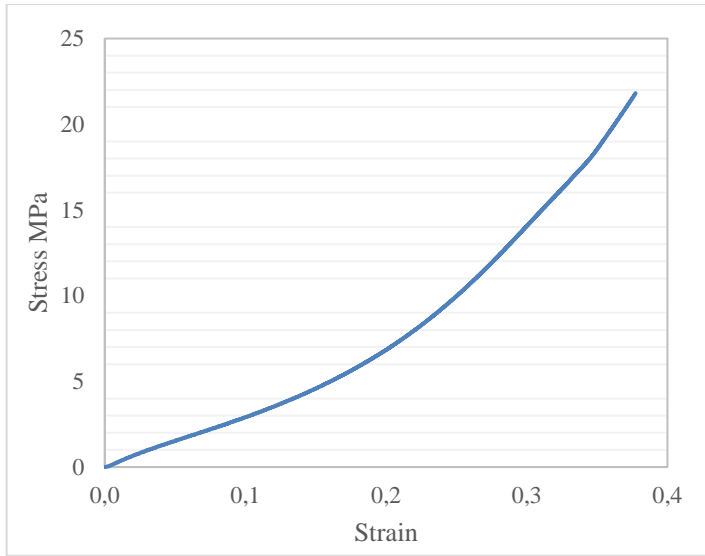


Figure 4 Stress-Strain curve for bearing specimen

#### 4. Finite Element Hyperelastic Modeling

ABAQUS CAE 2017 software was used in the modeling process (Abaqus-Docs, 2017). (Sugihardjo et al., 2018) tested a similar material for all four required tests to define a hyperelastic material. Therefore, test results of the study (Sugihardjo et al., 2018) were used as an input to evaluate ABAQUS hyperelastic material.

Finite element validation aims to find the best model to define this material and fit the experimental results. After finding the most suitable model, the other behaviors of this structural element can be predicted. There is several finite element software that can solve and model a hyperelastic material. ABAQUS software is one of the best programs that can be used in FE modeling. All of the hyperelastic models used to define strain energy function (SEF) to characterize the material behavior are pre-defined in the software. These hyperelastic models mostly share the exact input requirements. As discussed before, these inputs should be obtained from the stress-strain data taken from stretching the elastomer in different modes. Hyperelastic models have been classified according to their main family as shown below.

- Arruda-Boyce
- Mooney-Rivlin (Polynomial N1)
- Ogden:
  - First-order N1
  - Second-order N2
- Reduced Polynomial:
  - Neo Hooke (first-order N1)
  - Second-order N2
  - Yeoh (third-order N3)

To evaluate hyperelastic material in Abaqus new material should be created, this material will be used generally to evaluated all models. In the mechanical properties, hyperelastic material should be selected. After this property is selected, the used test data will be added for each test type, four tests available as discussed before. Abaqus also gives the ability to apply smoothing points to test data, experimental tests can contain some noise in

results data which can affect the quality of the strain energy derived function. The final step will be evaluating all models, from material then evaluate choice, specific tests data can be selected in the evaluation process. Minimum and maximum strain values should be set for each test, the best value is to add physical experiments strain values in order to get the best fitting curves. Abaqus also gives the ability to simulate simple shear test to compare it with the experimental result if there is any. Ogden model accepts only one of the three shear tests besides the volumetric test.

After finishing all settings the software will evaluate all models coefficients for every model, also it will give information for each test and if the model is stable to use in model simulation. The resulted coefficients from this evaluation process are taken and used to define the hyperelastic material for the elastomeric bearing model, more details about each model will be presented in the modeling and validation section.

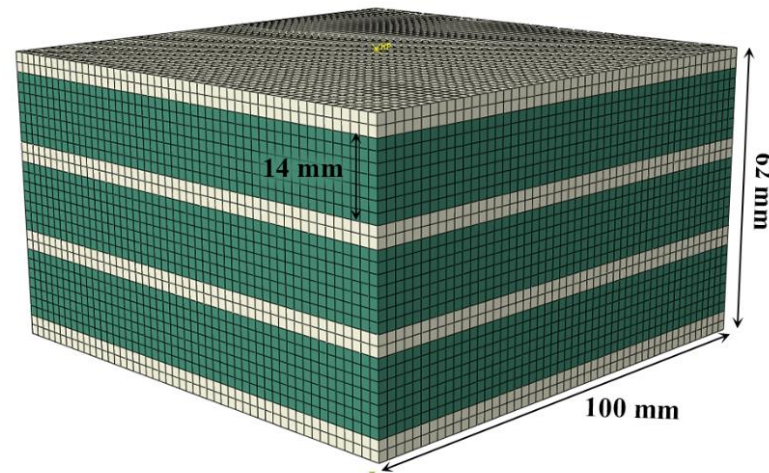


Figure 5 3D Model for the specimen

#### 4.1. Model Setup

The exact dimensions for experimental specimen have been modeled and coefficients evaluated before defining it in the material property. All parts have been linked together in a single instance for better performance analysis. **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.** represents the three-dimensional view of the specimen.

##### 4.1.1. Mesh Size

After several analyses using different mesh sizes, 2 mm mesh size was used in the simulation process. This small mesh size can lead to longer analysis time, however; it gives more accurate results. The total number of elements is 72500 and the elements are distributed as shown in **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.**

##### 4.1.2. Boundary conditions

The boundary conditions were defined to simulate the physical test environment which undergoes pure compression. Constraints are added to the base of the bearing in the initial step to prevent the movement in any direction ( $U1 = U2 = U3 = UR1 = UR2 = UR3 = 0$ ). Vertical displacement of 15.12 mm are applied to the top surface of the specimen to simulate the physical experiment, while the displacement in other directions was restricted ( $U2 = -15.12, U1 = U3 = UR1 = UR2 = UR3 = 0$ ).

Force-displacement and stress-strain results were recorded at the top surface to compare with the test results. Figure shows the loading steps in the FE model simulation. After finishing all the required setup, the model has been run for all seven different material models. Output history data has been observed similar to the physical test.

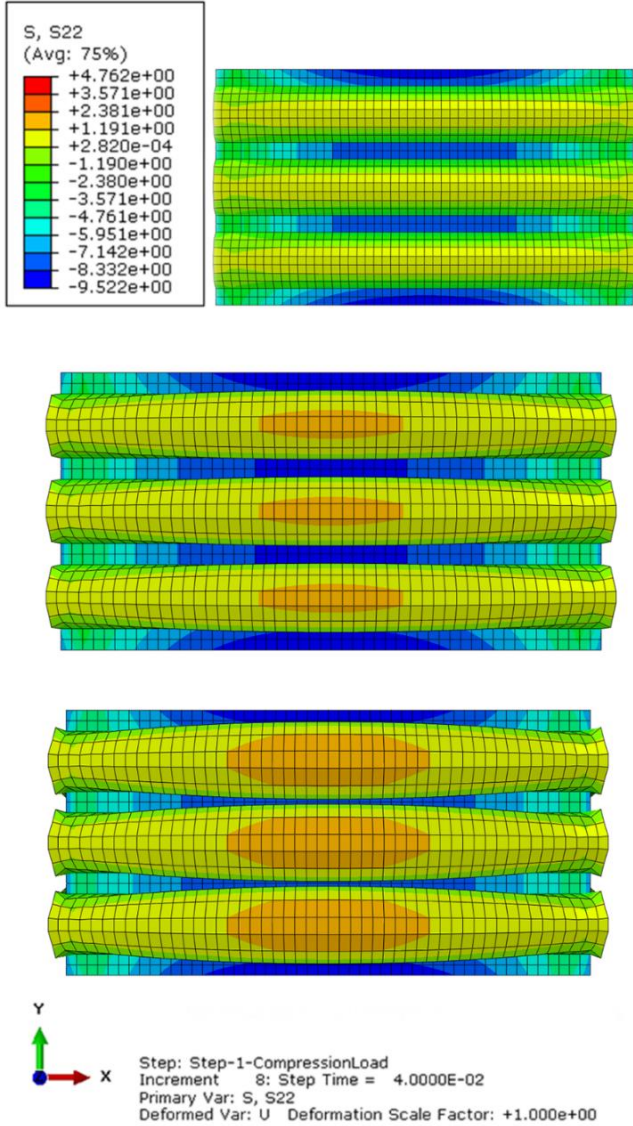


Figure 6 Loading steps applied to the FE model

## 4.2. Modeling and Validation

Test simulations made with hyperelastic models and models have been arranged into four groups and seven models according to their primary forms. To comparison all these models with test results, error percentages were calculated using the

$$\%Error = \frac{Test\ Results - Finite\ Element\ Results}{Test\ Results} * 100$$

Eq. 1

### 4.2.1. Arruda-Boyce

The first model selected in this research depends on three

parameters which are  $\mu$ ,  $\lambda_m$  and D, as shown in  $U = \mu \left[ \frac{1}{2} (\bar{I}_1 - 3) + \frac{1}{20\lambda_m^2} (\bar{I}_1^2 - 9) + \frac{1}{1050\lambda_m^4} (\bar{I}_1^3 - 27) \right] + \frac{1}{D} \left( \frac{J_{el}^2 - 1}{2} - \ln J_{el} \right)$ , Eq. 2.

These parameter values were calculated as shown in Table 1:

$$U = \mu \left[ \frac{1}{2} (\bar{I}_1 - 3) + \frac{1}{20\lambda_m^2} (\bar{I}_1^2 - 9) + \frac{1}{1050\lambda_m^4} (\bar{I}_1^3 - 27) \right] + \frac{1}{D} \left( \frac{J_{el}^2 - 1}{2} - \ln J_{el} \right),$$

Eq. 2

$U$  is the strain energy per unit volume;

$\mu$ ,  $\lambda_m$  and D: Temperature-dependent material parameters,

$\bar{I}_1$ : The first deviatoric strain invariant

Table 1 Arruda-Boyce coefficients

$\mu$	0.36795
$\lambda_m$	2.3191
D	0.00065

After the analysis was run, the stress-strain curve for the bearing material was drawn as shown in Figure . The results of the test and the model were compared and a significant difference was noticed in the behavior of the stress-strain curve.

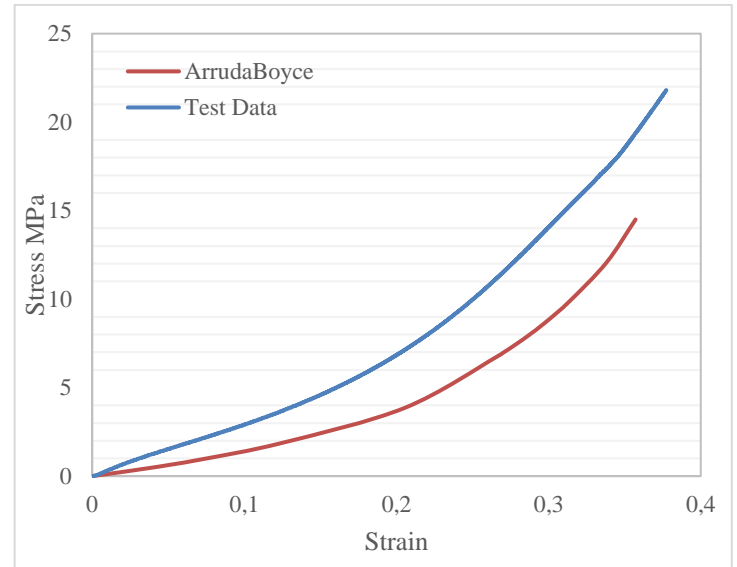


Figure 7 Stress-Strain curves for Arruda Boyce hyperelastic model.

Error percent is up to 55% at maximum when the strain is 0.9, while the lowest error was 24% at its maximum strain. This error range can be considered as high.

### 4.2.3. Mooney-Rivlin (Polynomial)

Moony Rivlin model belongs to the polynomial form which is first introduced by the two scientists Mooney and Rivlin (Tobajas et al., 2018), as shown in  $U = C_{10} (\bar{I}_1 - 3) + C_{01} (\bar{I}_2 - 3) + \frac{1}{D_1} (J_{el} - 1)^2$ , Eq. 3. Stress-strain curves were obtained with the same process, coefficients used in the material property were shown in **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı..** Results are compared in **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı..** A high error percent was indicated, which was up to 50% at the maximum load.



$$U = C_{10} (\bar{I}_1 - 3) + C_{01} (\bar{I}_2 - 3) + \frac{1}{D_1} (J^{el} - 1)^2, \text{ Eq. 3}$$

$U$  is the strain energy per unit volume;  
 $C_{10}, C_{01}$  and  $D_1$ : Temperature-dependent material parameters;  
 $\bar{I}_1$ : The first deviatoric strain invariant

Table 2 Mooney-Rivlin coefficients

C10	0.18186
C01	0.036242
D1	0.000645

The analysis was defined with orders from first to third (Neo-Hooke N1, N2, Yeoh N3), Yeoh form is third-order reduced polynomial form first introduced by (Yeoh, 1993). General form is presented in  $U = \sum_{i=1}^N C_{i0} (\bar{I}_1 - 3)^i + \sum_{i=1}^N \frac{1}{D_i} (J^{el} - 1)^{2i}$ , Eq. 4, parameters for all orders were obtained from FE solutions as listed in **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı..** Results from stress-strain show a very close behavior to the physical test data, as shown in Figure . Neo-Hooke and N2 models show a very close prediction with an error of less than 10%, while Yeoh's error rises to a higher level as shown in **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı..**

Table 3 Coefficients for Reduced Polynomial models

Neo-Hooke N1	
C10	0.54092
D1	0.00064512
Reduced Polynomial N2	
C10	0.406947
C20	0.007435
D1	0.000664
D2	0.0000643
Yeoh N3	
C10	0.21777
C20	-0.004460
C30	0.002040
D1	0.000689
D2	0.0000656
D3	0.00000065

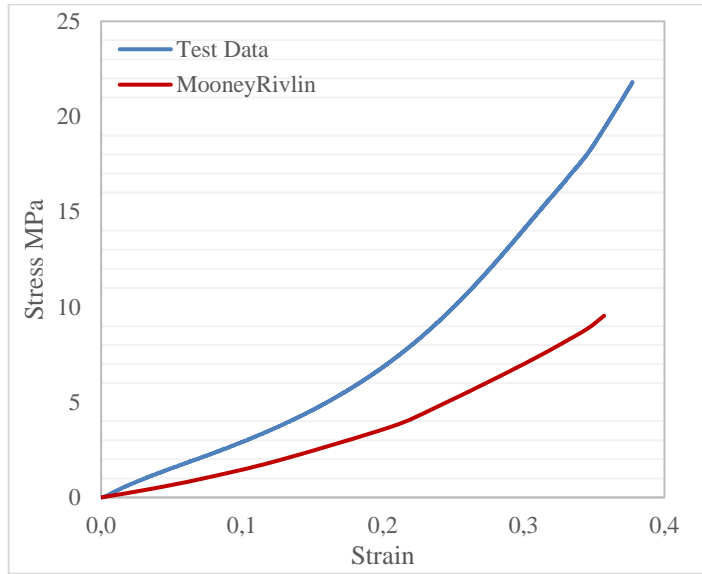


Figure 8 Stress-Strain curves for polynomial models

The first-order result gave a massive error percent, up to 69%, making it the highest error in the whole series of experiments. In comparison, the second-order gave better results and closer to the physical specimen. The analysis shows less than 17% error, making it more acceptable.

4.2.2. Reduced Polynomial

$$U = \sum_{i=1}^N C_{i0} (\bar{I}_1 - 3)^i + \sum_{i=1}^N \frac{1}{D_i} (J^{el} - 1)^{2i}, \text{ Eq. 4}$$

$U$  is the strain energy per unit volume;  
 $N$  is a material parameter;  
 $C_{i0}$  and  $D_i$ : are temperature dependent material parameters.  
 $\bar{I}_1$  are the first deviatoric strain invariants.

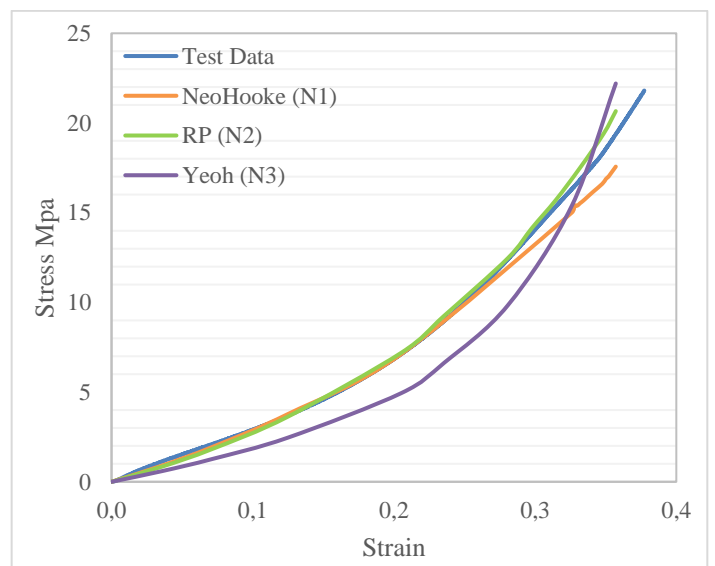


Figure 9 Stress-Strain curves for Reduced polynomial models

### 4.2.4 Ogden

Ogden was the final form used in this study. The model is shown in  $U = \sum_{i=1}^N \frac{2\mu_i}{\alpha_i^2} (\bar{\lambda}_1^{\alpha_i} + \bar{\lambda}_2^{\alpha_i} + \bar{\lambda}_3^{\alpha_i} - 3) + \sum_{i=1}^N \frac{1}{D_i} (J^{el} - 1)^{2i}$ , Eq. 5, it was first proposed in 1972 by (Ogden, 1972). Two different analyses were described for the first (N1) and second (N2) orders in **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı..** Results for stress-strain data are shown in **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı..**

$$U = \sum_{i=1}^N \frac{2\mu_i}{\alpha_i^2} (\bar{\lambda}_1^{\alpha_i} + \bar{\lambda}_2^{\alpha_i} + \bar{\lambda}_3^{\alpha_i} - 3) + \sum_{i=1}^N \frac{1}{D_i} (J^{el} - 1)^{2i}, \text{ Eq. 5}$$

$U$  is the strain energy per unit volume;

$\bar{\lambda}_i$  are the deviatoric principal stretches,  $\bar{\lambda}_i = J^{-\frac{1}{3}} \lambda_i$ ,  $\lambda_i$  are the principal stretches;

$N$  is a material parameter;

$\mu_i, \alpha_i$  and  $D_i$ : are temperature dependent material parameters.

Table 4 Coefficients for Ogden model

First-order N1	
Mu1	0.150945
Alpha1	1.645819
D1	0.000689
Second-order N2	
Mu1	0.066921
Alpha1	4.513467
Mu2	0.631607
Alpha2	-0.371077
D1	0.000689
D2	0.0000635

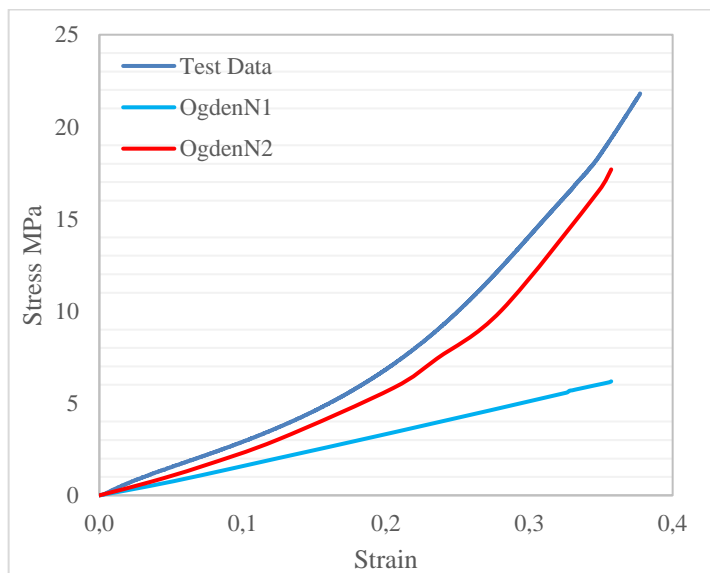


Figure 10 Stress-Strain curves for Ogden form and test data

The results of the first-order model gave a massive error. While the second-order gave better results and the curve prediction was very close to the real test.

## 5. Discussion

Error percentage for all model results was listed in **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.** and curve fitting was used to make the final decision. Reduced Polynomial form was selected to model the material for shear tests since it has the lowest error and had the best curve fit with the experimental result. However, there is more than one model that gave acceptable results with less than 25% of error. Second-order Ogden and Neo-Hooke forms also gave good predictions, especially for Neo-Hooke which shows an error of less than 9%, but the Neo-Hooke model failed at high strain values. In terms of the Ogden model (N2), it also produced acceptable results, but the curve was not fitted perfectly with test data. First-order Ogden (N1) model gave the highest error in the whole series of analyses with a value up to 69%. Mooney-Rivlin also was not the best solution, high error percentages were obtained up to 50% at the maximum displacement.

Table 5 Maximum and minimum error for every model

Model	Min Error %	Max Error %
Arruda-Boyce	25	54
Neo-Hooke (N1)	0.33	9
Reduced Polynomial N2	1.5	7
Yeoh (N3)	6.6	30
Mooney-Rivlin	47	50
Ogden N1	40	69
Ogden N2	8	17

## 6. Conclusion and Recommendations

The compression test was conducted on elastomeric bearing specimen and FE simulations of this test specimen were performed. Comparisons were made between seven hyperelastic models to find the best model that can fit this rubber material. Reduced Polynomial was selected to model shear tests as it was the most fitted form. However, some observations are found from the results,

- The first-order reduced polynomial hyperelastic model (Neo-Hooke) can give a good characterization under compression loadings. There is a good correlation between test data and model results. On the other hand, stress results show little lower values in the model.
- The second best match is the reduced polynomial model. The minimum error is 1.5% and the best match was obtained for the maximum stress values.
- Some models can succeed in predicting the behavior only for small displacement values, when strain value increases the error will increase as shown in the results of Neo-Hooke and Ogden (N2) forms.
- Volumetric coefficients or the compressibility behavior are hard to predict by FE simulations. No difference can be noticed even when D coefficients were used as zero. Hyperelastic material has very small compressibility, it

can take years to detect the compressed value. Therefore, it is hard to be noticed in short simulation analysis.

- Hyperelastic models would be a glimpse of the research for future work that will match cyclic load. In order to get a perfect fitting for cyclic loads in rubbers, viscoelastic properties should be added beside the hyperelastic properties. Viscoelasticity is a time-dependent property that can be found by importing load versus time data for different modes of testing.

## References

- Abaqus. (2012). Analysis User's Manual 6.12, Volume II.
- Abaqus-Docs. (2017). *Hyperelastic behavior of rubberlike materials*. Retrieved from Abaqus Documentaions: <https://abaqus-docs.mit.edu/2017/English/SIMACAEMATRefMap/simamat-c-hyperelastic.htm>
- AFAD. (2019, April 10). *T.C. İÇİŞLERİ BAKANLIĞI Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı*. Retrieved from <https://depem.afad.gov.tr/depemkatalogu>
- Arruda, E. M. (1993). A three-dimensional constitutive model for the large stretch behavior of rubber elastic materials. *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*, 41(2), 389-412. Retrieved from [http://dx.doi.org/10.1016/0022-5096\(93\)90013-6](http://dx.doi.org/10.1016/0022-5096(93)90013-6)
- Barroso, A. C. (2012). Biaxial testing of composites in uniaxial machines: manufacturing of a device, analysis of the specimen geometry and preliminary experimental results. *15th European Conference on Composite Materials: Composites at Venice, ECCM., 2012*.
- Crocker, L. E. (1999). Hyperelastic modelling of flexible adhesives.
- EKŞİ, K. (2019). *Investigate Elastomeric Bearings Under Fatigue Loading*. Master Thesis, Yildiz Technical University.
- Fragnet, M. (2013). Elastomers and Rubbers used in Civil Engineering. Organic Materials for Sustainable Construction.
- Medellín, L. F. (2017). Design of a biaxial test module for uniaxial testing machine. 4.8, 7911-7920.
- Miler, K. (2004). Testing elastomers for finite element analysis. *Axel Products*.
- Ogden, R. W. (1972). Large deformation isotropic elasticity—on the correlation of theory and experiment for incompressible rubberlike solids. *Proceedings of the Royal Society of London. A. Mathematical and Physical Sciences*, 326(1567), 565-584. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.1098/>
- Shahzad, M. K. (2015). Mechanical characterization and FE modelling of a hyperelastic material. *Materials Research* 18.5, 918-924.
- Sugihardjo, H. T. (2018). FE Model of Low Grade Rubber for Modeling Housing's Low-Cost Rubber Base Isolators. *Civil engineering journal*, 24-45.
- Tobajas, R. e. (2018). Visco-hyperelastic model with damage for simulating cyclic thermoplastic elastomers behavior applied to an industrial component. *Polymers*, 10(6), 668.
- Yeoh, O. H. (1993). Some forms of the strain energy function for rubber. *Rubber Chemistry and technology*, 66(5), 754-771.



## Yol Kenarlarındaki Ağaçların Trafik Kaynaklı Karbon Aerosolleri Üzerindeki Etkisi

Muhammet Ali Aktaş<sup>1</sup>, Hüseyin Özdemir<sup>2\*</sup>, Ali Osman Çeker<sup>3</sup>, Hüseyin Kurtuluş Özcan<sup>4</sup>, Göksel Demir<sup>5</sup>

<sup>1</sup>İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, (ORCID ID: 0000-0001-9217-8516),

[muhaliahtas@gmail.com](mailto:muhaliahtas@gmail.com)

<sup>2</sup>Bahçeşehir Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, \* (ORCID ID: 0000-0002-3166-6513),

[huseyin.ozdemir.dr@gmail.com](mailto:huseyin.ozdemir.dr@gmail.com)

<sup>3</sup>İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, (ORCID ID: 0000-0003-0193-1539),

[ceker19@itu.edu.tr](mailto:ceker19@itu.edu.tr)

<sup>4</sup>İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, (ORCID ID: 0000-0002-9810-3985),

[hkozcan@iuc.edu.tr](mailto:hkozcan@iuc.edu.tr)

<sup>5</sup>Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Hamidiye Sağlık Bilimleri Fakültesi, İş Sağlığı ve Güvenliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, (ORCID ID: 0000-0002-7815-1197), [goksel.demir@sbu.edu.tr](mailto:goksel.demir@sbu.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 1 Temmuz 2021 ve Kabul Tarihi 09 Eylül 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.958005)

**ATIF/REFERENCE:** Aktaş M. A., Özdemir H., Çeker A. O., Özcan H. K., & Demir G. (2021). Yol Kenarlarındaki Ağaçların Trafik Kaynaklı Karbon Aerosolleri Üzerindeki Etkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (27), 479-488.

### Öz

Özellikle gelişmekte olan ülkelerde ve mega şehirlerde sayıları sürekli artan motorlu taşıtlar, hava kirliliği kaynaklarının önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. Araç emisyonlarından yayılan ince partikül madde (PM<sub>2.5</sub>), insan sağlığı ve çevre üzerinde olumsuz etkileri olan önemli bir kirleticidir. PM<sub>2.5</sub> kirleticisinin önemli bileşenleri Organik Karbon (OK) ve Elementel Karbon'dur (EK). Bu çalışmada; PM<sub>2.5</sub>, OK ve EK seviyeleri, İstanbul'da yoğun araç trafiğine sahip bir noktada Mart ve Mayıs 2016 döneminde incelendi. Ayrıca aynı nokta 2016 yılı Mayıs ve Haziran aylarında ölçüm istasyonu yanına ağaçlar dikildikten sonra yeniden incelenmiştir. Ağaçlar dikilmeden önceki ortalama ince partikül madde değeri, Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) ve Avrupa Birliği (AB) sınır değerlerinin üzerinde olan 33,1±8,2 µg/m<sup>3</sup> olarak ölçülmüştür. Bu çalışmanın yapıldığı dönemde OK ve EK konsantrasyonlarının ortalaması 6,5±3,7 µg/m<sup>3</sup> ve 2,3±1,5 µg/m<sup>3</sup> olarak bulunmuş, ağaçların dikiminden sonra ise ince partikül madde ortalama değeri 25,3±4,5 µg/m<sup>3</sup>'e düşmesine rağmen hala DSÖ ve AB sınır değerlerinin üzerindedir. Bu dönemde ortalama OK ve EK konsantrasyonları ise sırasıyla 6,7±4,1 µg/m<sup>3</sup> ve 2,6±0,8 µg/m<sup>3</sup> olarak bulunmuştur. Bu çalışmada, yoğun araç trafiğinin olduğu mega şehirlerde PM<sub>2.5</sub> seviyesine yol kenarına dikilen ve partikül tutma özelliğine sahip ağaçların olumlu etkisinin olduğu gözlenmiştir. Ancak, OK ve EK konsantrasyonlarında, çok daha küçük boyutları nedeniyle anlamlı bir değişim görülmemiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Araç Trafiği, Yol Kenarı Ağaçları, İnce Partikül Madde (PM<sub>2.5</sub>), Organik Karbon, Elementel Karbon.

## The Effect of Roadside Trees on Traffic-Related Carbonaceous Aerosols

### Abstract

Motor vehicles, which increase in number continuously in megacities, especially in developing countries, constitutes a significant part of the sources of air pollution, especially in megacities. Fine Particulate Matter (PM<sub>2.5</sub>) emitted from vehicle emissions is an important pollutant that has adverse effects on human health and the environment. The significant components of vehicle emitted PM<sub>2.5</sub> are Organic Carbon (OC) and Elemental Carbon (EC). PM<sub>2.5</sub>, OC and EC levels were investigated in March and May 2016 at a point in Istanbul, where has heavy vehicle traffic. Also, the same area was reinvestigated in May and June 2016 after planted trees next to the measurement station area. The average value of Fine Particulate Matter before trees were planted was measured as 33.1±8.2 µg/m<sup>3</sup> which is above World Health Organization (WHO) and European Union (EU) limit values. The average of OC and EC concentrations in the period of this study were found as 6.5±3.7 µg/m<sup>3</sup> and 2.3±1.5 µg/m<sup>3</sup>, the average value of Fine Particulate Matter after trees planted was decreased 25.3±4.5 µg/m<sup>3</sup>, which is still above WHO and EU limit values. The average OC and EC concentrations in the period of this study were found as 6.7±4.1 µg/m<sup>3</sup> and 2.6±0.8 µg/m<sup>3</sup> respectively. In this study, it was observed that in the megacities where intensive vehicle traffic exists, roadside trees could have an impact on trapping PM<sub>2.5</sub>. However, OC and EC concentrations didn't show a significant change due to their much smaller sizes.

**Keywords:** Vehicle Traffic, Roadside Trees, Fine Particulate Matter (PM<sub>2.5</sub>), Organic Carbon, Elemental Carbon

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

## 1. Giriş

Hava Kirliliği insan sağlığı için başlıca çevresel risktir. DSÖ dış ortam hava kirliliğine bağlı olarak meydana gelen hastalıklardan dolayı (felç, kalp hastalığı, KOAH, akciğer kanseri, akut solunum yolu enfeksiyonları, ve diğ.) her yıl yaklaşık olarak 4,2 milyon insanın öldüğünü tahmin etmektedir (WHO, 2019; WHO, 2021). Bunun en önemli sebeplerinden biri, şehirlerdeki nüfus artışının dolaylı olarak hava kalitesini düşürmesidir. Kentleşme ve ekonomik büyüme arasında güçlü ilişki nedeniyle dünya çapında kasabalar ve şehirler, gayri safi milli hasılanın yüzde 80'inden fazlasına ulaştı. Bununla birlikte kentsel bölgelerde yoksulluk dünya çapında artmakta, bunun nedeni ise büyük ölçüde yoksullar da dahil olmak üzere birçok insanın kentsel alanlara taşınmasıdır. 2008 yılında ilk kez dünya nüfusunun yarısından fazlası kentsel alanlarda yaşamaya başladı ve 2030 yılına kadar bunun yaklaşık 5 milyara çıkacağı öngörülmüştür (UNFPA, 2007; 2016).

Yüksek nüfusa sahip olan mega şehirler, özellikle gelişmekte olan ülkelerde kırsal bölgelerden gelen yoğun göçe maruz kalmakta ve hava kirliliğinde yüksek seviyeler gözlenmektedir. Sanayi faaliyetleri, trafik, vb. aktiviteler mega şehirlerin temel hava kirliliği kaynaklarıdır. Her geçen gün Dünya'da araç sayısı artarak bu oranı gittikçe yükseltmektedir. İstanbul, Londra, New York, Paris ve Pekin gibi büyük mega şehirlerde trafik sıkışıklığı nedeniyle araç akışı hızının düşmesi yerel ve bölgesel kirlilik seviyesini artırmaktadır. Şehirleşmenin büyük bir kısmı 1-5 milyon nüfuslu kentsel alanlarda gerçekleşmesine rağmen, yüksek nüfus yoğunluğuna sahip mega şehirler bu gelişimde önemli bir paya sahiptir. Bu nedenle mega şehirlerde insanlar çeşitli sağlık sorunları ile karşı karşıya kalmaktadır (UN-HABITAT, 2006). Gelişmekte olan ülkelerin mega şehirlerinde motorlu araç taşımacılığındaki artış, hava kirlleticilerinin seviyelerini yükseltmektedir (Kumar ve diğ., 2013). Motorlu taşıtlar, kentsel alanlardaki Partikül Madde (PM), Karbon Monoksit (CO), Azot Oksitler (NO<sub>x</sub>) ve Metan Harici Hidrokarbonlar (NMHC) gibi hava kirliticilerinin ana kaynağıdır (Hung-Lung ve Yao Sheng, 2009). Trafik kaynaklı kirliticilerden ince partiküllerin (PM<sub>2.5</sub>) iki önemli karbon bileşeni ise OK ve EK'dir (Fraser ve diğ., 1999). Yoğun trafik emisyonlarından kaynaklı hava kirliticileri; astımın şiddetlenmesine, akciğer fonksiyonlarının bozulmasına, kardiyovasküler hastalıklara ve bu hastalığa bağlı ölen insan sayısının artmasına ve bilişsel yeteneğin azalmasına neden olan olumsuz sağlık etkilerine neden olmaktadır (Batterman ve diğ., 2014; Tsai ve diğ., 2010). Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre, İstanbul'da 4.061.725 motorlu araç bulunmakta (TÜİK, 2020), her geçen gün trafiğe yeni araçlar eklenmekte ve bu durum trafik kaynaklı hava kirliliğinin kontrol edilmesini güçleştirmektedir. Günümüzde İstanbul, farklı emisyon kaynaklarına bağlı olarak özellikle partikül madde ve NO<sub>2</sub> kirliliğine maruz kalmaktadır (İncecik ve İm, 2012; Ozdemir ve diğ., 2014).

Yollarda meydana gelen trafiğe bağlı emisyonların kentsel alanlardaki toplam PM konsantrasyonlarına etkisi büyük olmakta ve araç emisyonlarından PM'ye maruz kalan insanlarda çeşitli sağlık sorunlarına yol açtığı bilinmektedir. (HEI, 2010; Masiol ve diğ., 2012; Rissler ve diğ., 2012). Karayolu araçlarından kaynaklanan PM emisyonları; araç egzozundan ve fren, lastik ve debriyaj gibi araç parçalarının aşınması ve tozun yeniden havaya karışması sonucu atmosfere verilmektedir (Güney ve diğ., 2020). Araçlardan meydana gelen emisyonlar ağırlıklı olarak ince PM

oluşumuna neden olmaktadır (Abu-Allaban ve diğ., 2003; Tervahattu ve diğ., 2006; Thorpe ve diğ., 2007; Kam ve diğ., 2012). PM, sadece çok kirli ortamlarda değil, yerleşimin olduğu her yerde genel halk sağlığı için büyük bir tehdit oluşturmaktadır (WHO, 2013a). 2005 yılında, PM<sub>2.5</sub> ve O<sub>3</sub> kirliticileri solunum yolu hastalıklarından 773.000, akciğer kanserinden 186.000 ve kardiyovasküler hastalıklardan 2 milyon kişinin ölümüne neden olmuştur (Lelieveld ve diğ., 2013).

Kentsel ortamda ince PM'nin önemli bir kısmı (%20-80) karbon kaynağından oluşmaktadır (Nunes ve Pio, 1993; Rogge ve diğ., 1993). Karbonlu bileşikler, aerosollerin en az anlaşılabilir bileşenlerinden biridir (Saarikoski ve diğ. 2008). EK yanma işlemlerinde oluşan birincil kirlitici iken, OK birincil kaynaklardan ve ikincil oluşum proseslerinden kaynaklanan birçok bileşik grubunun kompleks bir karışımıdır (Seinfeld ve Pandis, 2006). EK ve OK, iklim ve ekosistem üzerinde önemli etkilere sahip kirliticilerdir. OK ışığı yansıtarak iklim üzerinde soğuma etkisine sebep olur iken EK, görüş mesafesinin azalmasına, güneş ışığını emerek de atmosferin ısınmasına neden olur (Tegen ve diğ., 1997; Malm ve diğ., 2000; Torres ve diğ., 2014).

Geçmişte yapılan çalışmalara bakıldığında PM ile OK ve EK arasındaki ilişkiyi görmek mümkündür. Sharma ve diğ. (2014) Hindistan'ın Delhi kentinde yaptığı çalışmada, 210 µg/m<sup>3</sup> ortalama konsantrasyonu ile en yüksek PM<sub>2.5</sub> değeri ölçülmüştür. Kentsel alandaki OK ve EK ortalama konsantrasyonları ise sırasıyla 54,1 ve 10,4 µg/m<sup>3</sup> bulunmuştur. Çin'e ait bazı şehirlerdeki ortalama PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonları Liu ve diğ. (2014) yaptığı çalışmada Pekin'de 92,6 µg/m<sup>3</sup>, Zhang ve diğ. (2011) yaptığı çalışmada Xiame'n'deki endüstri bölgesinde 74,8 µg/m<sup>3</sup> ve kentsel bölgede 72,1 µg/m<sup>3</sup>, Wang ve diğ. (2015) yaptığı çalışmada Pekin'de 98 µg/m<sup>3</sup> ve Dongsheng ve diğ. (2016) yaptığı çalışmada Pekin şehrinde 93,2 µg/m<sup>3</sup> olarak bulunmuştur. Bu sonuçlar AB ve DSÖ limit değerlerin 3-4 kat üzerindedir. Kuzu ve diğ. 2020 yılında İstanbul'un bir başka ilçesi olan Esenler'de yaptığı çalışmada, sanayi tesisi ve karayolu bağlantısında yapılan ölçümler sonucu ortalama PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonunu 21,5 ± 12,4 µg/m<sup>3</sup> bulmuştur. Ayrıca çalışmada ortalama OK ve EK konsantrasyonları sırası ile 14,4 ve 7,4 µg/m<sup>3</sup> ölçülmüştür. 2017 yılında yapılan bir başka çalışmada ise İstanbul'daki hastalık oranları ile PM ilişkisi araştırılmış ve bulgular PM<sub>2.5</sub>'in hastalık artışında önemli bir etkisi olduğunu göstermiştir. Solunum morbiditesi ile ilişkili morbiditenin %1,5'i PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonundaki değişiklikler sebebi ile meydana gelmiştir (Çapraz ve diğ., 2017).

Bu çalışmanın amacı; İstanbul kentinde seçilen bir noktada, trafik kaynaklı ince partikül madde kirlilik düzeyinin tespit edilmesi ve ağaçlandırma öncesi ile sonrası ölçüm sonuçlarının kıyaslanarak ağaçların trafikten kaynaklanan özellikle ince partikül maddenin karbonlu bileşiklerindeki bariyer etkisini araştırmaktır. Çalışmada ince partikül maddeye ait OK ve EK seviyesi belirlenmiş, bunun yanında PM<sub>2.5</sub>, OK ve EK konsantrasyonları mevcut meteorolojik şartlar, araç sayısı göz önünde bulundurulularak değerlendirilmiş ve ağaçlandırma öncesi ve sonrası ölçüm sonuçları yorumlanmıştır. Bu çalışma aynı zamanda 2019 yılında yayınlanan çalışmasının devamı niteliğinde olup, araçlardan salınan PM<sub>2.5</sub> kirliliğinin ağaçlı ortamda azalması sonucunu temel almıştır (Ozdemir, 2019).

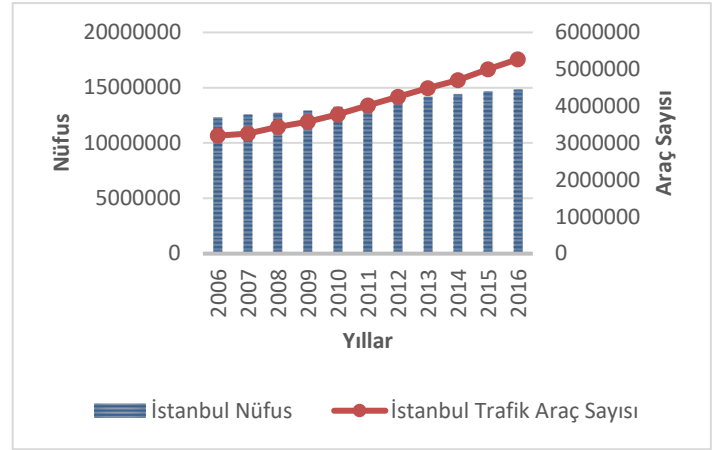
## 2. Materyal ve Metot

Partikül madde ölçümleri, 47 mm Quartz filtre kullanılarak düşük hacimli ortam havası örnekleyicisi olan “Zambelli ISO PLUS 6000” cihazı kullanılarak hava akış hızı 16,67 L/dk ile PM<sub>2.5</sub> boyutunda toplanmıştır. Toz Örnekleme Cihazı, ISO 9096 ve EPA Metotlarında (EPA Metot 5–EPA Metot 17) gösterilen tasarım ve protokol kriterlerine uyan örnekleme sistemidir. Sistem, bir vakum pompasına (0-40 L/dk) ve standart bir dizi örnekleme giriş nozullarıyla birlikte kullanıldığında yaklaşık 2-120 m/sn aralığında bir örnekleme giriş hızı veren kuru tip hacimsel gaz akış ölçüm sistemine sahiptir. Partikül madde, 47 mm filtre çapı ve 2.2 µm gözenek çapı olan Quartz Fiber Whatman tip filtreler üzerinde toplanmıştır. Örneklemeden önce, filtreler sabit nem (%25-35) ve sıcaklıktaki (25 °C) desikatörde 24 saat kapakları açık petri kaplarına tutulup, PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonu hesaplanması için 0.0001 hassasiyete sahip Ohaus Adventurer Pro-AV264 model mikro hassas terazide tartılmıştır. Tartımdan sonra filtreler, plastik petri kaplarına yerleştirilip hava ve güneş ışığı ile temas etmeyecek şekilde parafilm ve alüminyum folyo ile sarılarak paketlenmiştir. Toplanan PM<sub>2.5</sub> örneklerine ait OK ve EK analizleri Sunset Lab. (Oregon, ABD) Termal-Optik Karbon Aerosol Analizörü kullanılarak yapılmıştır.

Yirmi yıl önce baskın antropojenik emisyonlar genellikle evsel ısınma ve endüstriyel faaliyetler sonucunda oluşurken, günümüzde araç trafiğine bağlı emisyonlar önemli seviyelere ulaşmıştır (Xu ve diğ. 2018). İstanbul ise 15 milyonu aşan nüfusu ile Türkiye'nin en kalabalık şehri ve Dünya'nın en büyük mega şehirlerinden birisidir. İstanbul'da 2006 ve 2016 arasındaki yıllara göre her geçen yıl motorlu taşıt sayısı artmıştır (Şekil 2). Şehirde 2020 yılı verilerine göre 15 milyonun üzerinde nüfus ve 5 milyondan fazla motorlu taşıt bulunmaktadır (TÜİK, 2020). Şekil 1'de çalışmanın yapıldığı örnekleme noktası sarı çerçeve içerisinde gösterilmiştir.



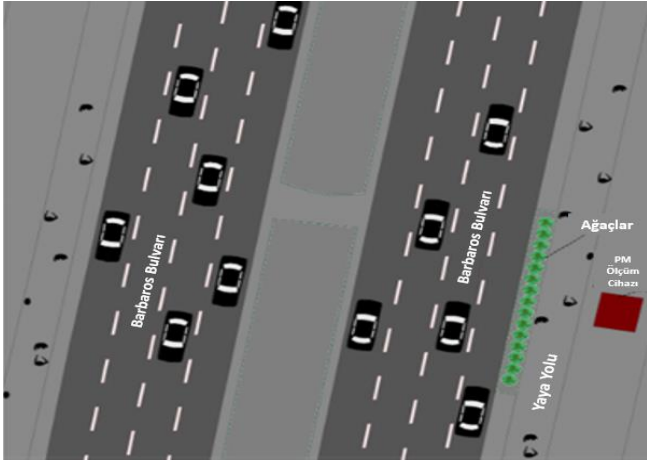
Şekil 1. Örnekleme noktası; Barbaros Caddesi İstanbul, 41.0465 °K - 29.0080 °D (Sarı çerçeve içerisinde).



Şekil 2. Yıllara göre İstanbul'da nüfus ve motorlu araç sayıları (TÜİK, 2020).

Örnekleme noktasının olduğu Beşiktaş ilçesi 8,3 km sahil uzunluğunda ve İstanbul Boğazı'nın Avrupa yakasında bulunmaktadır (Şekil 1). Beşiktaş, İstanbul'un Avrupa ve Anadolu yakası arasında bulunan bir geçiş noktasıdır. Ayrıca, birçok tarihi yapı, müze, üniversite ve ticaret merkezlerine yakın olmasından dolayı çok sayıda aracın kentlin diğer bölgelerine geçerken kullandığı güzergah üzerindedir. Çalışmanın yapıldığı yer yoğun araç trafiğine sahip Barbaros Bulvarı yol kenarında bulunan örnekleme noktasıdır (41.0465K, 29.0080D). Örnekleme noktası iki yönlü araç trafiğine sahip ve çok sayıda otobüs, minibüs, özel ve ticari araçların ve birçok insanın geçiş güzergahında bulunmaktadır. Örnekleme noktasına yakın araç hızlarını etkileyecek trafik lambaları ve yaya geçidi olması nedeniyle trafik akışı ve araç hızları anlık olarak değişmektedir.

Maruz kalınan en yüksek PM konsantrasyonları için insanların iş ve okul faaliyetlerinin en fazla olduğu ve motorlu taşıtların en çok kullanıldığı hafta içi günlerde 2 Mart - 9 Mayıs 2016 ve ağaçlar dikildikten sonra 16 Mayıs - 1 Temmuz 2016 tarihleri arasında örnekleme yapılmıştır. Hafta içi günlerde trafiğin daha yoğun olması, bu günlerde PM ve bileşenlerinin konsantrasyonlarının daha yüksek ölçülmesine neden olmaktadır (Lonati ve diğ., 2006; Rattigan ve diğ., 2010; Hassan ve diğ., 2013; Schleicher ve diğ., 2013). Partikül madde maruziyeti için örnekleme cihazı yoldan 5 metre uzaklıkta ve yerden ise 2 metre yükseklikte kurulmuştur (Ozdemir, 2019). Çalışma alanında ağaçlandırmadan sonra da örnekleme yapılmış olup “Cupressus Sempervirens (Akdeniz Servisi)” türü ağaçlar Şekil 3'deki gibi sıralı şekilde dikilmiştir.



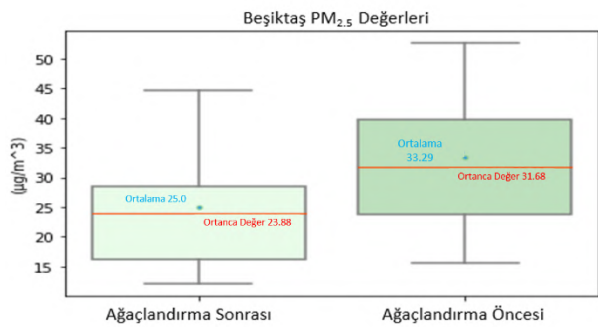
Şekil 3. Barbaros Bulvarı ve ölçüm istasyonu arasındaki ağaç dikiminden sonraki gösterim.

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Çalışma süresi boyunca elde edilen  $PM_{2.5}$ , OK ve EK değerlerini yorumlayabilmek için meteorolojik ve araç verilerine göre kütleli konsantrasyonların ortalama, minimum, maksimum ve standart sapma değerleri ve veri sayısını içeren istatistiksel analizler yapılmıştır. Ozdemir, 2019'da yapılan çalışmanın devamı olarak ayrıca PM ile OK ve EK arasındaki ilişkiyi anlayabilmek amacıyla korelasyon grafikleri oluşturularak çalışma sonuçları aşağıda yorumlanmış ve değerlendirilmiştir.

#### 3.1 Ağaç dikiminden önce ve sonra $PM_{2.5}$ , OK, EK ve TK ölçüm sonuçları

İnce partikül madde ( $PM_{2.5}$ ) ölçümlerinde ağaçların dikiminden önce (2 Mart – 9 Mayıs 2016) ve ağaçların dikiminden sonra (16 Mayıs-1 Temmuz 2016) 24 saatlik örneklemeler yapılmış ve gravimetrik olarak konsantrasyonları hesaplanmıştır.  $PM_{2.5}$  ölçümlerinin ağaç dikiminden önce ve sonra değişimi Şekil 4'te gösterilmiştir.



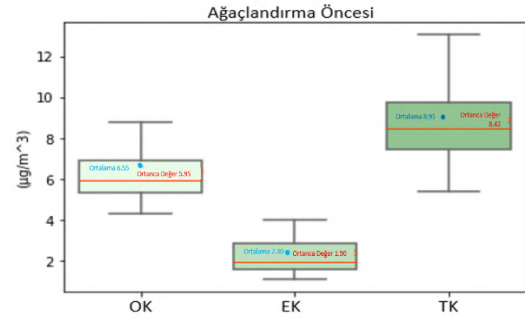
Şekil 4. Ağaçlandırma sonrası ve öncesi  $PM_{2.5}$  değerleri (ortalama: mavi ve ortanca değer: kırmızı).

Ölçüm periyodu süresince  $PM_{2.5}$  değerlerinin ağaçsız durumda 15,5 ve 60,5  $\mu g/m^3$  değerler arasında değiştiği görülmüştür. Ortalama değer 33,1±8,2  $\mu g/m^3$  olarak hesaplanmıştır. DSÖ, USEPA (Amerika Birleşik Devletleri Çevre Ajansı) ve AB tarafından halk sağlığının korunması için günlük ortalama  $PM_{2.5}$  konsantrasyon değerinin sırasıyla 25  $\mu g/m^3$ , 35  $\mu g/m^3$ , 25  $\mu g/m^3$  olması önerilmektedir. Ölçüm periyodunun ağaçlı durumunda 12,1  $\mu g/m^3$  ve 47,8  $\mu g/m^3$  değerler arasında değiştiği görülmüştür. Ortalama değer 25,3±4,5  $\mu g/m^3$

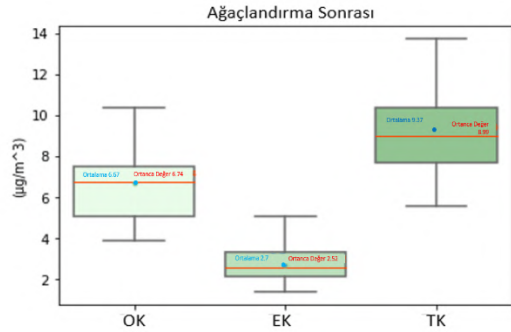
hesaplanmıştır. Bu dönemde yapılan ölçümlerde EPA sınır değerlerinin altına kalınmış, DSÖ ve AB değerlerinin ise sınırında ölçüm sonuçları ölçülmüştür.

Ölçüm periyotları sürecinde benzer ortam şartları ve araç sayılarına bakıldığı zaman  $PM_{2.5}$  değerleri ağaç dikiminden sonra ortalama 8  $\mu g/m^3$  düşmüştür (Şekil 4). Özellikle ağaç dikiminden sonra araç sayılarında artış olmasına rağmen ağaçların araç kaynaklı  $PM_{2.5}$  emisyonlarının etkilerini ve değerlerini azaltılmasında önemli bir rol alacağını göstermektedir. Sıcaklık değerlerinin ağaçlı dönemde yaklaşık 10 derece daha yüksek olması ve benzer rüzgar hızı değerlerinin ölçülmüş olması da bu sonucu desteklemektedir.

$PM_{2.5}$  boyutundaki OK değerleri, 24 saat süre ile örneklenen Quartz Fiber filtreler ile analiz edilerek konsantrasyonları hesaplanmıştır. Ölçüm günlerinde elde edilen OK, EK ve Toplam Karbon (TK) sonuçları ağaçsız ve ağaçlı durum ile sırasıyla Şekil 5 ve Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 5. Ağaçların dikilmeden önceki OK, EK ve TK değerleri (ortalama: mavi ve ortanca değer: kırmızı).



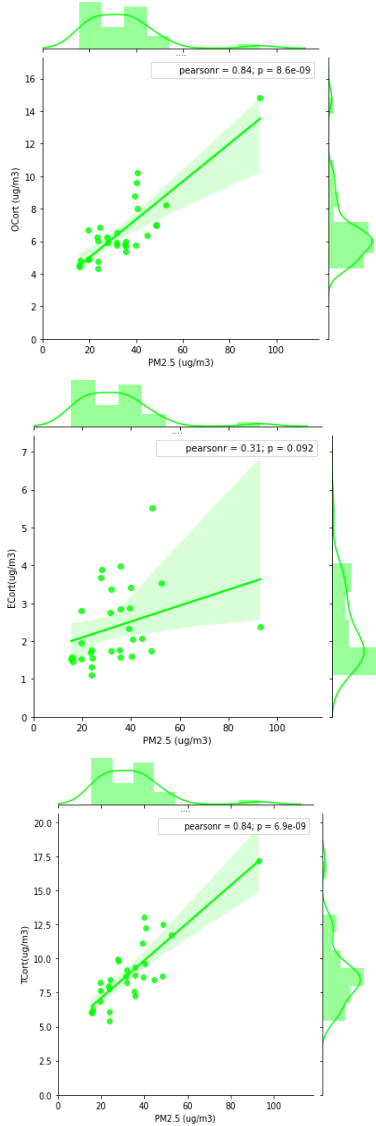
Şekil 6. Ağaçların dikiminden sonraki OK, EK ve TK değerleri (ortalama: mavi ve ortanca değer: kırmızı).

Çalışmada OK, EK ve TK değerlerinin sırasıyla ağaçsız durumda ortalama 6,5±3,7  $\mu g/m^3$ , 2,3±1,5  $\mu g/m^3$  ve 8,9±4,2  $\mu g/m^3$  olduğu ağaçlı durumda ise ortalama değerlerin sırası ile 6,7±4,1  $\mu g/m^3$ , 2,6±0,8  $\mu g/m^3$  ve 9,3±5,1  $\mu g/m^3$  olduğu bulunmuştur.

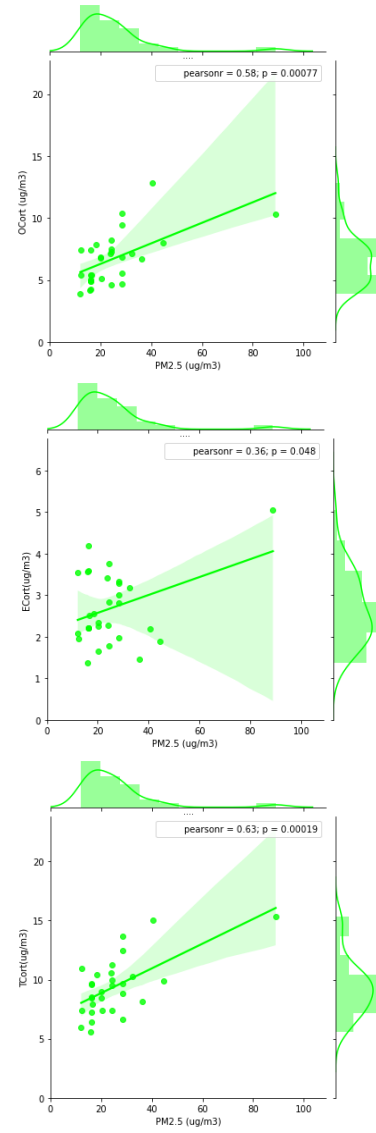
#### 3.2 OK, EK ve TK değerlerinin $PM_{2.5}$ değerleri ile korelasyon sonuçları

Çalışmada değişkenler arasındaki ilişkinin daha iyi anlaşılması için parametrik korelasyon testi (Pearson) kullanılmıştır.  $PM_{2.5}$  içerisindeki karbon oranlarını belirlemek için yapılan yerin karakteristik özellikleri açısından

önemlidir. Bu amaçla  $PM_{2.5}$ , OK ve EK değerleri arasındaki ilişkileri açıklamak için korelasyonları incelenmiştir.  $PM_{2.5}$ , OK ve TK ile yüksek korelasyona sahipken EK değerleri ile düşük uyum göstermiştir. Bu değişkenliğin bölgedeki araç trafiğinden kaynakladığı düşünülmektedir. OK, EK, TK ve  $PM_{2.5}$  Pearson korelasyon sonuçları ağaç dikiminden sonraki ve önceki durum için sırasıyla Şekil 7 ve Şekil 8'de incelendiğinde; r değerlerinin OK, EK ve TK için sırasıyla 0,8, 0,3 ve 0,8 olduğu görülmektedir. Bu r değerleri; OK ve  $PM_{2.5}$  arasında yüksek bir korelasyon, EK ile  $PM_{2.5}$  arasında düşük korelasyon olduğunu göstergesidir. TK ile  $PM_{2.5}$  arasındaki korelasyon beklenildiği üzere yüksek hesaplanmıştır. Ağaçlı durum incelendiğinde; r değerlerinin OK, EK ve TK için sırasıyla 0,5, 0,3 ve 0,6 olduğu görülmektedir. Bu r değerleri; OK ve  $PM_{2.5}$  arasında EK'ya oranla yüksek bir korelasyon, EK ile  $PM_{2.5}$  arasında ise ağaçsız duruma göre yüksek olsa da düşük korelasyon olduğunu göstergesidir. TK ile  $PM_{2.5}$  arasındaki korelasyon beklenildiğinin aksine düşük çıkmıştır. Bunun sebebinin ağaç kaynaklı biyojenik salım ve yüksek sıcaklık ile alakalı olduğu düşünülmektedir.



Şekil 7. OK, EK ve TK ile  $PM_{2.5}$  arasındaki ağaçsız durum için korelasyonlar.



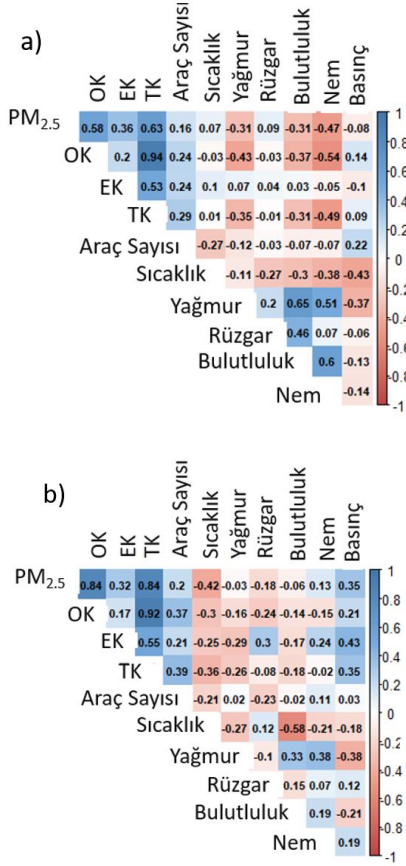
Şekil 8. OK, EK ve TK ile  $PM_{2.5}$  arasındaki ağaçların dikiminden sonraki korelasyonlar.

Yapılan çalışmada korelasyon analizi, iki değişken arasındaki korelasyonu pozitif ve negatif olarak iki parametre arasında yorumlamak için yapılmıştır. Korelasyon ilişkileri  $PM_{2.5}$ , OK, EK, TK değerleri; araç sayısı ve meteorolojik faktörler arasında ayrı ayrı incelenmiştir. Korelasyon matrisindeki '-' ve '+' değerler iki değişken arasındaki ilişkinin negatif veya pozitif olduğunu ifade eder.

Ölçüm sonuçları ile meteorolojik parametreler ve araç sayısı arasında korelasyon analizi sonuçlarına göre ağaçsız durum için  $PM_{2.5}$  değerinin en yüksek korelasyonu basınç ( $r=0,3$ ) ve sıcaklıkla ( $r=-0,4$ ) göstermiştir. EK, basınç ( $r=0,4$ ) ve yağmurla ( $r=-0,2$ ) en yüksek korelasyon değerlerine sahiptir. OK, araç sayısı ( $r=0,3$ ) ve sıcaklık ( $r=-0,3$ ) arasında yüksek korelasyon göstermiştir. TK, en yüksek korelasyonları ise sıcaklık ( $r=-0,3$ ) ve basınç ( $r=0,3$ ) değerleri arasında olmuştur. Ağaçlı durumda ise neredeyse tüm ölçülen kirleticiler ve araç sayılarının değerinin meteorolojik parametreler ile arasındaki korelasyon çok düşük veya negatif bulunmuştur. Bunun bir sebebi ağaçların daha nemli ve sıcak günlerde partikülleri daha iyi tutabiliyor olması düşünülmektedir.



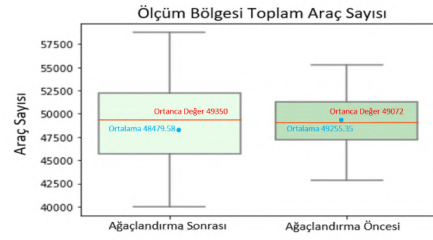
Şekil 9 incelendiğinde PM<sub>2.5</sub> değerlerinin OK ve TK ile yüksek oranda korelasyona sahip olduğu görülmektedir. Bunun dışında kalan meteorolojik parametrelerle PM<sub>2.5</sub> korelasyonu düşük seviyelerdedir. Bu durum elde edilen PM<sub>2.5</sub> değerinin meteorolojik kökenli değil trafik kaynaklı olduğunun bir göstergesidir. Araç sayısı ile düşük korelasyon değerinin düşük olması örnekleme bölgesinde geçen araçların değişkenlik göstermesine bağlanmaktadır



Şekil 9. Ağaçların dikiminden sonraki (a) ve önceki (b) durum için korelasyon matrisleri.

### 3.3 Araç sayısının ölçüm aralığındaki günlük değişimi

İstanbul Büyükşehir Belediyesi Trafik Müdürlüğünden temin edilen verilerden, ölçüm yapılan Barbaros Bulvarının Kabataş ve Zincirlikuyu iki yönü toplamı alınarak araç sayısı hesaplanmıştır. Örnekleme yapılan günlerdeki araç sayısı değişimi Şekil 10'da gösterilmiştir. Çalışma süresi boyunca günlük toplam araç sayısı ağaçlı ve ağaçsız durum için 47.000-51.000 aralığında değişmektedir. Ölçüm yapılan süre içerisinde ortalama günlük ağaçsız durumda 51.000, ağaçlı durumda ise 52.000 araç geçtiği hesaplanmıştır. Her iki ölçüm aralığında günlük araç sayısı benzerlik göstermektedir ancak, ağaçlı durumdaki araç sayısının az da olsa artış göstermesine karşılık PM<sub>2.5</sub> ölçümlerinde azalış görülmesi ağaçların işlevselliği konusunda umut verici sonuçlar ortaya çıkarmıştır.



Şekil 10. Örnekleme yapılan zaman aralığına ait araç sayıları (ortalama: mavi ve ortanca değer: kırmızı).

### 3.4 Meteorolojik analiz

PM<sub>2.5</sub> örnekleme süreci boyunca örnekleme yapılan bölgedeki meteorolojik koşullar takip edilmiştir. Örnekleme noktasına en yakın olan Balmumcu Meteoroloji İstasyonunda Sıcaklık, Basınç, Nem, Rüzgar Hızı ve Yağış parametreleri ölçülmektedir. Ağaç dikiminden sonraki ölçüm günlerinde sıcaklık değerleri 16 ve 28 °C aralığında değişmektedir. Ölçüm aralığındaki günlerde çok fazla yağışın olmadığı görülmüştür. En fazla yağışın olduğu günde 13 mm yağış gözlenmiştir. Ölçüm günlerinde ortalama yağış değerinin ise 2 mm olduğu görülmüştür. Ölçüm periyodundaki nemin %47 ve %82 aralığında değiştiği, ortalama nem değerinin ise %64 olduğu görülmüştür. Rüzgar hızı 2 ve 9 m/s arasında değişkenlik göstermiştir. Rüzgar hızı ortalama olarak 5 m/s değerindedir. Basınç değerleri 1003 ve 1018 mbar değerleri arasında değişmiş ve ortalama 1013 mbar değerindedir (Tablo 1). Ağaçsız durumdaki ölçüm günlerinde sıcaklık değerleri 6 ve 26 °C aralığında değişmektedir. Ölçüm aralığında yapılan günlerde orta seviyede yağış görülmüştür. En fazla yağışın olduğu günde 21 mm yağış gözlenmiştir. Ölçüm günlerinde ortalama yağış değeri 3 mm olduğu görülmüştür. Örnekleme yerinde ölçüm periyodundaki nemin %42 ve %90 aralığında değiştiği, ortalama nem değerinin %70 olduğu görülmüştür. Rüzgar hızı 2 ve 10 m/s arasında değişkenlik göstermiştir. Rüzgar hızı ortalama olarak 5 m/s değerindedir. Basınç değerleri 1000 ve 1026 mbar değerleri arasında değişmiş ve ortalama 1012 mbar değerindedir (Tablo 1).

Tablo 1. Ağaçların dikiminden önceki ve sonraki durum için meteorolojik parametrelerin istatistikleri.

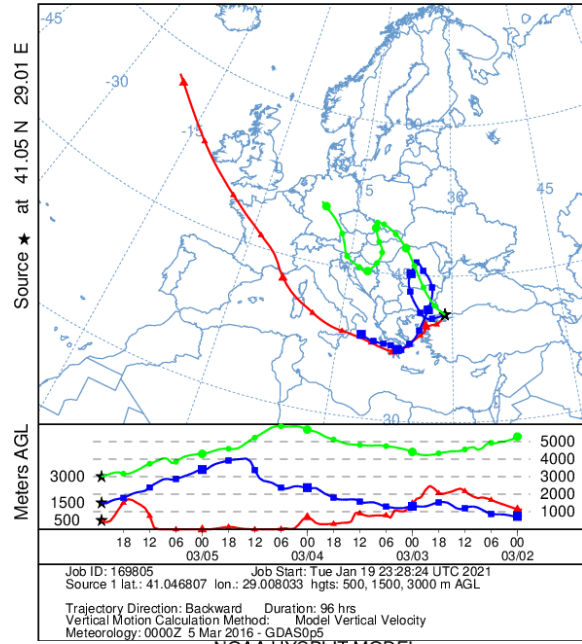
	Sıcaklık	Yağmur	Rüzgar	Bulutluluk	Nem	Basınç
	Ağaçsız	Ağaçlı	Ağaçsız	Ağaçlı	Ağaçsız	Ağaçlı
Min	6	16,2	0	0	2,4	2,4
Max	26	28,2	21,2	13	10,1	9,2
Ortalama	13,7±4,2	23,6±3,8	2,9±4,7	1,5±3	5±1,7	5±1,8
	40,3±23,9	18,9±14,6	69,5±10	64,1±8,2	1012±6,7	1012±3,9

Çalışma bölgesinde sıcaklık harici çoğu meteorolojik parametrenin benzer değerlerde olması çalışmanın doğruluğu açısından önemlidir. Özellikle ağaçların dikilmediği dönemde yağışın daha yüksek olması ise ağaçlı durumda düşük ölçülen PM<sub>2.5</sub> değerleri açısından ağaçların partikül tutma verimini daha iyi ifade etmektedir.

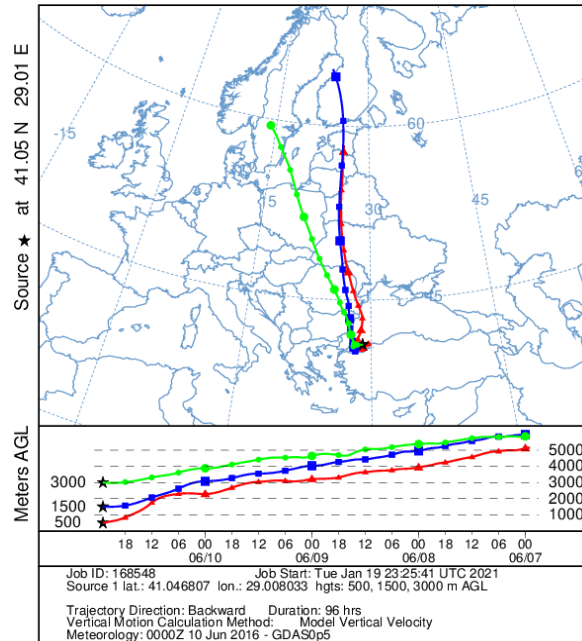
Uzun menzilli PM taşınımı etkisini değerlendirmek için, Amerikan Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresi (NOAA) tarafından çevrimiçi olarak temin edilebilen Geriye Doğru Yörünge Simülasyonları (HYSPLIT) modelini kullanarak kirleticilerin geriye doğru yörüngeleri belirlenmiştir. Back Trajectory, kaynak ve hava kütleleri arasında bulunan ilişkiyi belirlemek için kullanılan bir yöntemdir (Draxler ve Hess, 1998). Hava yörüngelerinin hesaplanması, küresel ölçekteki kirlilik problemlerinin araştırılmasında sıkça kullanılan en önemli metodlardan birisidir (Miller, 1987). Hava kütlelerinin geri yörüngeleri ise belirli bir bölgede gözlenen aerosollerin kaynağı ve bu Aerosoller taşıyan hava kütlelerinin aerosollerin gözleendiği bölgeye gelene kadar izlediği rota hakkında önemli bilgiler vermektedir. Bu model NCEP tarafından üretilen meteorolojik verileri kullanarak hava parselleri için adveksiyon ve dispersiyon hesabı yapmaktadır (ARL, 2010a). Bu çalışmada, örnekleme yerine ulaşan hava parsellerinin 4 gün boyunca hangi rotaları izlediğini bulabilmek için HYSPLIT modeli 500, 1500, 3000 m başlangıç yüksekliği için çalıştırılmıştır. Modeli çalıştırmadan önce geri yörüngelerin bitiş saati olarak 00:00 saati ve bitiş koordinatları sisteme girilmiştir.

Bu modeldeki temel amaç; PM<sub>2.5</sub> konsantrasyon değeri en yüksek olan günlerin kirlilik kaynaklarının lokal kaynaklı trafikten mi yoksa başka bölgelerden taşınımına mı geldiğinin araştırılmasıdır. En yüksek konsantrasyon değeri olan ağaçlı durum için 7 Haziran 2016 (88,8 µg/m<sup>3</sup>) ve ağaçsız durum için 3 Mart 2016 (92,9 µg/m<sup>3</sup>) için 4 günlük HYSPLIT modeli çalıştırılmıştır. Taşınımın genellikle örnekleme yerine Avrupa'dan geldiği görülmektedir. Sonuçlara göre örnekleme bölgesinin konsantrasyon değerini yüksek değerlere çıkaracak Afrika bölgesinden taşınımın olmadığı görülmüştür. Afrika kökenli PM kaynakları olan sahra tozlarının taşınımının olmadığı Şekil 12'de görülmektedir. Buda ölçülen PM konsantrasyonlarının lokal veya Avrupa'dan taşınan kirleticiler olduğunun göstergesidir. Çalışma süresince rüzgar ve yağmur gibi taşınımına ve çökelmeye etki edecek faktörlerin düşük sevide olması ölçülen PM'in yerel trafik kaynaklarından geldiğinin diğer bir göstergesidir. Bu günlerde araçların, örneklemenin yapıldığı Barbaros Bulvarında diğer günlere göre yoğunluğun arttığı veya çevreye daha fazla emisyon yayan türdeki araçların geçtiği öngörülmektedir. Örnekleme bölgesinde araçların türlerini veya sınıflarını belirlemek veri analizi açısından daha güvenilir sonuçlar alınmasını sağlayacaktır.

NOAA HYSPLIT MODEL  
Backward trajectories ending at 2300 UTC 05 Mar 16  
GFSG Meteorological Data



NOAA HYSPLIT MODEL  
Backward trajectories ending at 2300 UTC 10 Jun 16  
GFSG Meteorological Data



Şekil 11. Yüksek konsantrasyonlara sahip 1-5 Mart 2016 ve 6 Haziran- 10 Haziran 2016 günleri için HYSPLIT model sonuçları.

#### 4. Sonuç

Dünyada artan sayıları ile motorlu taşıtlar kullandıkları fosil yakıtlar sonucunda havaya çeşitli emisyonları yayarlar. Bu trafik kaynaklı emisyonlardan biri olan ince PM'in, insan sağlığı ve çevresel etkileri bulunmaktadır. Bu kirleticiler atmosferdeki ömürleri ve uzun mesafelerde taşınabilmesi nedeniyle global ölçekte bütün dünyayı etkilemektedir. İnsan vücudunda alveollere kadar girebilen ince PM'ye uzun süre maruz kalma, özellikle kalp hastalıkları, kalp krizi ve felç gibi kardiyovasküler etkilerle ilgili erken ölümlere, akciğer gelişiminin azalmasına ve çocuklarda astım gibi kronik solunum yolu hastalıklarına neden olmaktadır.

OK ve EK genellikle araç emisyonları, yanma prosesleri ve atmosferde kimyasal reaksiyonlar sonucu oluşan ince PM'in en önemli bileşenleri arasındadır. PM<sub>2.5</sub>, OK ve EK gibi küçük çaplı kirleticilerin temel kaynakları kentsel alanlardaki trafik emisyonlarıdır (Shaughnessy ve diğ. 2015, Khamraev ve diğ. 2021). Sayıları artan motorlu taşıtlar özellikle popülasyonu 10 milyondan fazla olan mega şehirlerde insan vücudunun akciğerine kadar girebilen ve solunum sistemini etkileyen PM<sub>2.5</sub> halk sağlığı için büyük tehdit oluşturmaktadır. Bu çalışmada, yoğun araç trafiğinin PM<sub>2.5</sub> ve önemli bileşenleri olan OK ve EK miktarı araştırılmıştır. Elde edilen bulgular değişen meteorolojik koşullar ve örnekleme bölgesinin yakınındaki yol kenarındaki araç değişimlerine bağlı olarak yorumlanmıştır. Ayrıca çalışma aynı ölçüm istasyonunun yanına dikilen ağaçlar göz önüne alınarak ağaçlı ve ağaçsız durum olarak iki farklı deneysel çalışma yapılmış ve bu ölçümlerin istatistiksel analizler ve benzerlikleri göz önüne alınarak ağaçlandırmanın şehir yaşamındaki trafik kaynaklı kirliliğe pozitif bir etkisi olup olmadığını bakılmıştır.

Çalışmada gravimetrik olarak ölçülen PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonları ölçüm yapılan ağaçsız günlerde ortalama 33,5 µg/m<sup>3</sup> elde edilmiştir. PM<sub>2.5</sub> değerleri minimum 15,5 µg/m<sup>3</sup> ve maksimum 92,9 µg/m<sup>3</sup> aralığındadır. DSÖ, USEPA ve AB tarafından halk sağlığının korunması için ortalama PM<sub>2.5</sub> konsantrasyon değerinin sırasıyla 25 µg/m<sup>3</sup>, 35 µg/m<sup>3</sup>, 25 µg/m<sup>3</sup> değerlerinin olması önerilmektedir. Ölçüm periyodunun ağaçlı durumunda ise 12,2 µg/m<sup>3</sup> ve 88,8 µg/m<sup>3</sup> değerler arasında değiştiği görülmüştür. Ortalama değer 25,3 µg/m<sup>3</sup> hesaplanmıştır. Bu dönemde yapılan ölçümlerde USEPA sınır değerlerinin altında kalınmış, DSÖ ve AB değerlerinin ise sınırında ölçüm sonuçları elde edilmiştir.

Çalışmada OK, EK ve TK değerlerinin sırasıyla ağaçsız durumda ortalama 6,5 µg/m<sup>3</sup>, 2,3 µg/m<sup>3</sup> ve 8,9 µg/m<sup>3</sup> olduğu ağaçlı durumda ise ortalama değerlerin sırası ile 6,7 µg/m<sup>3</sup>, 2,6 µg/m<sup>3</sup> ve 9,3 µg/m<sup>3</sup> olduğu bulunmuştur. Ölçüm bölgesinde özellikle ağaçlı durumun olduğu dönemde OK'daki 0,2 µg/m<sup>3</sup> artış kabul edilebilir bir artıştır. Ayrıca, TK değerindeki 0,4 µg/m<sup>3</sup> artışın yaklaşık %80'lik kısmının EK bazlı olduğu düşünüldüğü zaman bölgede EK bazlı kirliliğin daha hızlı arttığı kolayca gözükmektedir.

Her iki örnekleme periyodunda meteorolojik parametrelerin değişkenliğinin az olduğu görülmüştür. Rüzgar hızının 2-8 m/s arasında değiştiği ve dolayısıyla düşük rüzgar hızı göstermektedir. Ağaçlı örnekleme döneminde fazla yağış görülmediği, maksimum 13 mm ve ortalama 1 mm hesaplanmıştır. Sıcaklık değerleri ortalama 24 °C, minimum 16 °C ve maksimum 28 °C görülmüştür. Basınç ortalama 1013 mbar seviyesindedir.

Ağaçsız durumdaki ölçüm günlerindeki sıcaklık değerleri 6 ve 26 °C aralığında değişmektedir. Ölçüm aralığındaki günlerde orta seviyede yağış görülmüştür. En fazla yağışın olduğu günde 21 mm yağış gözlenmiştir. Ölçüm günlerinde ortalama yağış değeri 3 mm olduğu görülmüştür. Örnekleme yerinde ölçüm periyodundaki nemin %42 ve %90 aralığında değiştiği ortalama nem değerinin %70 olduğu görülmüştür. Rüzgâr hızı 2 ve 10 m/s arasında değişkenlik göstermiştir. Rüzgar ortalama olarak 5 m/s değerindedir. Basınç değerleri 1000 ve 1026 mbar değerleri arasında değişmiş ve ortalama 1012 mbar değerindedir. Bu nedenle elde edilen sonuçların farklılığı değişen meteorolojik koşulların değil, bölgedeki araç trafiği değişiminden kaynaklandığı görülmektedir.

Örnekleme bölgesine gelen uzun mesafeli kirletici taşınımı HYSPLIT geri yörünge simülasyonları modeli kullanılarak 96 saat için (500, 1500 ve 3000 m seviyelerinde) yüksek konsantrasyon günlerinde incelenmiş ve özellikle Avrupa üzerinden gelen emisyonların bu hava parsellerini taşıdığı görülmüştür. Örnekleme bölgesinin konsantrasyonlarını yüksek seviyelere çıkaracak Afrika bölgesinden taşınımın olmadığı ve bu değerlerin yoğun araç trafiğinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Yapılan çalışma diğer ülkelerdeki mega şehirlerde yapılan çalışmalarla kıyaslandığında, Kaohsiung, Kaliforniya, Inchon, Pekin, Xiamen, Tianjin ve Delhi şehirlerinde elde edilen PM<sub>2.5</sub> değerlerinin bu çalışmadan çok daha yüksek konsantrasyonlarda ölçülmüştür (Liu ve diğ. 2014, Zhang ve diğ. 2011, Sharma ve diğ. 2014)

Tablo 2. Sonuçların literatürdeki diğer araştırmalar ile kıyaslanması

	Şehir	PM <sub>2.5</sub> (µg/m <sup>3</sup> )
Bu Çalışma	İstanbul	25 µg/m <sup>3</sup> ve 33 µg/m <sup>3</sup> (ağaç dikiminden sonra ve önce)
Kuzu ve diğ. 2020	İstanbul	21,5 µg/m <sup>3</sup>
Liu ve diğ. 2014	Pekin	92,6 µg/m <sup>3</sup>
Zhang ve diğ. 2011	Xiamen	74,8 µg/m <sup>3</sup>
Sharma ve diğ. 2014	Delhi	209 µg/m <sup>3</sup>

Yapılan çalışma, yoğun araç trafiği bölgesinde yaşayan insanların yüksek konsantrasyonlarda PM, OK ve EK kirliliğine maruz kaldığını göstermektedir. Mega şehirlerde motorlu taşıtlardan kaynaklanan hava kirliliği artan araç sayısı sebebiyle önemli bir sorundur. Gelişmiş ülkeler trafik kaynaklı emisyon değerlerini azaltmak için dizel ve benzinli araçların belirli bir tarihten sonra üretiminin durdurularak yerine temiz çevre adına kirlilik oluşturmeyen veya atmosfere daha az emisyon yayan araç üretimini planlamaktadır. Bu çalışmada sadece İstanbul'da yoğun trafiğin olduğu bir bölgede değerlendirme yapılmıştır. Trafiğin her bölgede farklılık göstermesi nedeniyle bu çalışmada bulunan yüksek konsantrasyon değerlerinin üzerinde değerlerin olması da beklenir. Özellikle gelişmekte olan ülkelerde her geçen gün artan araç sayısına bağlı olarak bu emisyonların giderek artacağı düşünülmektedir. Gelişmiş olan ülkelerde trafiğe bağlı emisyonların azaltılması için hedefler ve politikalar belirlenmiştir. Fosil yakıt kullanan araçların yerine bu emisyonları azaltmak için elektrikli, hibrit ya da çevre dostu yakıt kullanan araçların yaygınlaştırılması önemlidir. Ayrıca bu çalışmanın sonuçları, trafiğin insanların bulunduğu yerlere olan mesafesinin artırılması gerektiği sonucunu ortaya koymaktadır. Bunun önemli bir sebebi, trafik noktalarına olan uzaklığın artması ile emisyon miktarlarının düşmesidir (Karner ve diğ., 2010). Bununla birlikte, insanların günlük yaşamlarında kişisel motorlu taşıt kullanımının yerine yerine yürüyüş, bisiklet, elektrikli motor, toplu taşıma veya ortak araç kullanımı gibi alternatif yolları seçmesi araç emisyonu

kaynaklı PM kirliliğini azaltacaktır. Çalışmada elde edilen sonuçlar dikkate alındığında daha uzun süreli örnekleme ve daha fazla sayıda örnekleme noktasının kullanılmasıyla veri analizi için daha güvenilir sonuçlar elde edileceği düşünülmektedir. Ayrıca araçların özellikleri ve tiplerini tespit edebilecek sistemlerin geliştirilmesi ile birlikte kirletici türleri arasındaki ilişkiler daha yüksek güven aralıklarında tespit edilmesi öngörülmektedir. Bu çalışma, İstanbul'da ince PM içerisindeki OK ve EK seviyesini gösteren ilk çalışmalardan biri niteliğinde olup bundan sonraki yapılacak çalışmalar için temel özellik göstermektedir.

Bununla beraber çalışmanın ikinci ayağı olan ağaçlı durumun ağaçsız durum ile kıyaslanmasında PM<sub>2.5</sub> emisyonlarında daha yüksek araç sayısına rağmen yaklaşık 8 µg/m<sup>3</sup> değerinde düşüş olması şehirlerde, özellikle kanyon etkisi oluşturmayacak caddelerde, ağaçlandırmanın halk sağlığı ve emisyon kontrolü açısından ne kadar önemli olduğunu göstermiştir. Çalışmanın İstanbul başta olmak üzere diğer mega şehirlerde farklı ağaç türleri ile tekrarlanmasının da faydalı olacağı düşünülmektedir.

## Kaynakça

- Abu-Allaban, M., Gillies, J.A., Gertler, A.W., Clayton, R., Proffitt, D., 2003, Tailpipe, resuspended road dust, and brake wear emission factors from on-road vehicles, *Atmospheric environment*, 37, 5283-5293.
- Batterman, S., Ganguly, R., Isakov, V., Burke, J., Arunachalam, S., Snyder, M., Robins, T., Lewis, T., 2014, Dispersion modeling of traffic-related air pollutant exposures and health effects among children with asthma in Detroit, Michigan, *Transportation research board*, 2452, 105-112, <https://doi.org/10.3141/2452-13>.
- Birch, M.E., 2003, Monitoring of diesel particulate exhaust in the workplace, NIOSH Manual of Analytical Methods, 229-259.
- Buckeridge, D.L., Glazier, R., Harvey, B.J., Escobar, M., Amrhein, C., Frank, J., 2002, Effect of motor vehicle emissions on respiratory health in an urban area, *Environmental health perspectives*, 110 (3), 293-300, <https://doi.org/10.1289/ehp.02110293>.
- Güney, B., Öz, A. (2020). Microstructure and Chemical Analysis of Vehicle Brake Wear Particle Emissions. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (19), 633-642. DOI: 10.31590/ejosat.744098
- Fan, Y., Meng, Q., Weisel, C., Shalat, S., Laumbach, R., Ohman-Strickland, P., Black, K., Rodriguez, M., Bonanno, L., 2006, Acute short-term exposures to PM<sub>2.5</sub> generated by vehicular emissions and cardiopulmonary effects in older adults, *Epidemiology*, 17 (6), 213-214.
- Fraser, M.P., Cass, G.R., Simoneit, B.R.T., 1999, Particulate organic compounds emitted from motor vehicle exhaust and in the urban atmosphere, *Atmospheric environment*, 33, 2715-2724, [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(98\)00311-2](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(98)00311-2).
- Fuwang Zhang, Jinping Zhao, Jinsheng Chen, Ya Xu, Lingling Xu, Pollution characteristics of organic and elemental carbon in PM<sub>2.5</sub> in Xiamen, China, *Journal of Environmental Sciences*, Volume 23, Issue 8, 2011, Pages 1342-1349, ISSN 1001-0742, [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(10\)60559-1](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(10)60559-1).
- HEI Panel on the Health Effects of Traffic-Related Air Pollution, 2010, Traffic-related Air Pollution: A Critical Review of the Literature on Emissions, Exposure, and Health Effects, HEI Special Report, 17. Health Effects Institute, Boston, MA.
- Hung-Lung, C., Yao-Shang, H., 2009, Particulate matter emissions from on-road vehicles in a freeway tunnel study, *Atmospheric environment*, 43, 4014-4022, <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2009.05.015>
- Incecik, S., İm, U., 2013, Megaşehirlerde hava kalitesi ve İstanbul örneği, *Hava kirliliği araştırmalar dergisi*, 2, 133-145.
- Junshi Xu, Nathan Hilker, Matheus Turchet, Mohamad-Kenan Al-Rijleh, Ran Tu, An Wang, Masoud Fallahshorshani, Greg Evans, Marianne Hatzopoulou, Contrasting the direct use of data from traffic radars and video-cameras with traffic simulation in the estimation of road emissions and PM hotspot analysis, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, Volume 62, 2018, Pages 90-101, ISSN 1361-9209, <https://doi.org/10.1016/j.trd.2018.02.010>.
- Kam, W., Liacos, J.W., Schauer, J.J., Delfino, R.J., Sioutas, C., 2012, Size-segregated composition of particulate matter (PM) in major roadways and surface streets, *Atmospheric environment*, 55, 90-97, <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.03.028>
- Khusniddin Khamraev, Daniel Cheriyan, Jae-ho Choi, A review on health risk assessment of PM in the construction industry – Current situation and future directions, *Science of The Total Environment*, Volume 758, 2021, 143716, ISSN 0048-9697, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143716>
- Kumar, P., Jain, S., Gurjar, B.R., Sharma, P., Khare, M., Morawska, L., Britter, R., 2013, Cana “blue sky” return to Indian megacities?, *Atmospheric environment*, 71, 198-201, <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2013.01.055>
- Kuzu, S.L., Yavuz, E., Akyüz, E., Saral, A., Akkoyunlu, B.O., Özdemir, H., Demir, G., Ünal, A., 2020. Black carbon and size-segregated elemental carbon, organic carbon compositions in a megacity: a case study for Istanbul. *Air Qual Atmos Health* 13, 827–837. <https://doi.org/10.1007/s11869-020-00839-1>
- Lelieveld, J., Barlas, C., Giannadaki, D., Pozzer, A., 2013, Model calculated global, regional and megacity premature mortality due to air pollution, *Atmospheric chemistry and physics*, 13, 7023-7037, <https://doi.org/10.5194/acp-13-7023-2013>, 2013.
- Lili Wang, Zirui Liu, Yang Sun, Dongsheng Ji, Yuesi Wang, Long-range transport and regional sources of PM<sub>2.5</sub> in Beijing based on long-term observations from 2005 to 2010, *Atmospheric Research*, Volume 157, 2015, Pages 37-48, ISSN 0169-8095, <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2014.12.003>.
- Liu, Y.J., Zhang, T.T., Liu, Q.Y., Zhang, R.J., Sun, Z.Q. and Zhang, M.G. (2014). Seasonal Variation of Physical and Chemical Properties in TSP, PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> at a Roadside Site in Beijing and Their Influence on Atmospheric Visibility. *Aerosol Air Qual. Res.* 14: 954-969. <https://doi.org/10.4209/aaqr.2013.01.0023>
- Lonati, G., Giugliano, M. Cernuschi, S., 2006, The role of traffic emissions from weekends' and weekdays' fine PM data in Milan. *Atmospheric environment*, 40 (31), 5998-6011. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2005.12.033>
- Malm, W.C., Day, D.E., 2000, Optical properties of aerosols at grand canyon national park, *Atmospheric environment*, 34, 3373-3391. [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(00\)00108-4](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(00)00108-4)
- Masiol, M., Hofer, A., Squizzato, S., Piazza, R., Rampazzo, G., Pavoni, B., 2012, Carcinogenic and mutagenic risk associated to airborne particle-phase polycyclic aromatic hydrocarbons: a source apportionment, *Atmospheric environment*, 60, 375-382. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.06.073>
- Mauderly, J.L., 1994, Toxicological and epidemiological evidence for health risks from inhaled engine emissions,

- Environmental health perspectives*, 102, 165-171.  
<https://doi.org/10.1289/ehp.94102s4165>
- Nunes, T.V., Pio, C.A., 1993, Carbonaceous aerosols in industrial and coastal atmospheres, *Atmospheric environment*, 27A, 1339-1346. [https://doi.org/10.1016/0960-1686\(93\)90259-2](https://doi.org/10.1016/0960-1686(93)90259-2)
- Özkan Çapraz, Ali Deniz, Nida Doğan, Effects of air pollution on respiratory hospital admissions in İstanbul, Turkey, 2013 to 2015, *Chemosphere*, Volume 181, 2017, Pages 544-550, ISSN 0045-6535, <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.04.105>.
- Ozdemir, H., Pozzoli, L., Kindap, T., Demir, G., Mertoglu, B., Mihalopoulos, N., Theodosi, C., Kanakidou, M., İm, U., Ünal, A., 2014, Spatial and temporal analysis of black carbon aerosols in Istanbul megacity, *Science of the total environment*, 473, 451-458. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.11.102>
- Ozdemir, H., Mitigation impact of roadside trees on fine particle pollution, *Science of The Total Environment*, Volume 659, 2019, Pages 1176-1185, ISSN 0048-9697, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.262>.
- Rattigan, O.V., Dirk Felton, H., Bac, M.-S., Schwab, J.J., Demerjian, K.L., 2010, Multi-year hourly PM<sub>2.5</sub> carbon measurements in New York: Diurnal, day of week and seasonal patterns. *Atmospheric environment*, 44 (16), 2043-2053. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2010.01.019>.
- Rissler, J., Swietlicki, E., Bengtsson, A., Boman, C., Pagels, J., Sandstrom, T., Blomberg, A., Londahl, J., 2012, Experimental determination of deposition of diesel exhaust particles in the human respiratory tract, *Journal of aerosol science*, 48, 18-33. <https://doi.org/10.1016/j.jaerosci.2012.01.005>.
- Rogge, W.F., Mazurek, M.A., Hildemann, L.M., Cass, G.R., Simoneit, B.R.T., 1993, Quantification of urban organic aerosols at molecular level: identification, abundance and seasonal variation, *Atmospheric environment*, 27A, 1309-1330. [https://doi.org/10.1016/0960-1686\(93\)90257-Y](https://doi.org/10.1016/0960-1686(93)90257-Y).
- Saarikoski, S., Timonen, H., Saarnio, K., Aurela, M., Järvi, L., Keronen, P., Kerminen, V.-M., Hillamo, R., 2008, Sources of organic carbon in fine particulate matter in northern European urban air, *Atmospheric chemistry and physics*, 8, 6281-6295. <https://doi.org/10.5194/acp-8-6281-2008>.
- Schleicher, N., Cen, K., Norra, S., 2013, Daily variations of black carbon and element concentrations of atmospheric particles in the Beijing megacity–Part 1: General temporal course and source identification. *Chemie der erde - geochemistry*, 73 (1), 51-60. <https://doi.org/10.1016/j.chemer.2012.11.006>.
- Seinfeld, J.H., Pandis, S.N., 2006, *Atmospheric chemistry and physics: from air pollution to climate change*, Wiley, N.Y., ISBN: 978-0-471-72018-8.
- S.K. Sharma, T.K. Mandal, Mohit Saxena, Rashmi, A. Sharma, A. Datta, T. Saud, Variation of OC, EC, WSIC and trace metals of PM<sub>10</sub> in Delhi, India, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, Volume 113, 2014, Pages 10-22, ISSN 1364-6826. <https://doi.org/10.1016/j.jastp.2014.02.008>.
- Tegen, I., Hollrig, P., Chin, M., Fung, I., Jacob, D., Penner, J., 1997, Contribution of different aerosol species to the global aerosol extinction optical thickness: estimates from model results, *Journal of geophysical research*, 102, 23895-23915. <https://doi.org/10.1029/97JD01864>.
- Tervahattu, H., Kupiainen, K.J., Raisanen, M., Makela, T., Hillamo, R., 2006, Generation of urban road dust from anti-skid and asphalt concrete aggregates, *Journal of hazardous materials*, 132, 39-46. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2005.11.084>.
- Thorpe, A.J., Harrison, R.M., Boulter, P.G., McCrae, I.S., 2007, Estimation of particle resuspension source strength on a major London road, *Atmospheric environment*, 41, 8007-8020. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2007.07.006>.
- Torres, A., Bond, T.C., Lehmann, C.M.B., Subramanian, R., Hadley, O.L., 2014, Measuring organic carbon and black carbon in rainwater: evaluation of methods, *Aerosol science and technology*, 48 (3), 239-250. <https://doi.org/10.1080/02786826.2013.868596>.
- Tsai, D.H., Wang, J.L., Chuang, K.J., Chan, C.C., 2010, Traffic-related air pollution and cardiovascular mortality in central Taiwan, *Science of the total environment*, 408 (8), 1818-1823. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.01.044>
- TÜİK, Motorlu Kara Taşıtları, Aralık 2020 (<https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Road-Motor-Vehicles-December-2020-37410>, erişim: 23.12.2020) .
- UNFPA, United Nations Population Fund (2007) State of world population, Unleashing the potential of urban growth, (<https://www.unfpa.org/publications/state-world-population-2007>).
- UNFPA (United Nations Population Fund), 2016. Urbanization, (<https://www.unfpa.org/urbanization>, accessed 04 April 2021).
- UN-HABITAT (United Nations Human Settlements Programme), 2006, State of the World's Cities 2006/7. Earthscan, London.
- WHO (World Health Organization), 2013a, Review of evidence on health aspects of air pollution–REVIHAAP Project, World Health Organisation, DSÖ Regional Office for Europe, Copenhagen.
- WHO (World Health Organization), 2019, Healthy environments for healthier populations: Why do they matter, and what can we do? Geneva: World Health Organization (DSÖ/CED/PHE/DO/19.01). Licence: CC BYNC-SA 3.0 IGO.
- WHO (World Health Organization), 2021, Public health and environment, ([https://www.DSÖ.int/health-topics/air-pollution#tab=tab\\_2](https://www.DSÖ.int/health-topics/air-pollution#tab=tab_2), erişim: 01.04.2021)
- William J. Shaughnessy, Mohan M. Venigalla, David Trump, Health effects of ambient levels of respirable particulate matter (PM) on healthy, young-adult population, *Atmospheric Environment*, Volume 123, Part A, 2015, Pages 102-111, ISSN 1352-2310. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.10.039>.



# How is COVID-19 affecting the renewable energy sector and the electric power grid?

Hasan Huseyin Coban\*

\* Ardahan University, Department of Electrical and Electronics Engineering, 75002, Ardahan, Turkey, (ORCID: 0000-0002-5284-0568), [huseyincoban@ardahan.edu.tr](mailto:huseyincoban@ardahan.edu.tr)

(First received 4 March 2021 and in final form 18 September 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.890451)

**ATIF/REFERENCE:** Coban, H. H. (2021). How is COVID-19 affecting the renewable energy sector and the electric power grid? *European Journal of Science and Technology*, (27), 489-494.

## Abstract

It is not new to say that clean energy is better than energy from fossil fuels. What's new is that the world has a unique opportunity to accelerate clean development by putting renewable energy at the center of Covid-19 economic recovery plans. The process began with the individual quarantine of people; the closure of businesses, the decrease in the workforce and cash flow of companies, serious problems in production affected many sectors, including the energy sector, and currently, ongoing construction in power generation facilities has come to a standstill. In this study, it was investigated how the epidemic affected the renewable energy sector. Overall, energy demand fell but did not collapse completely. The most significant impact is felt in production centers and businesses where industrial demand is decreasing, but there is an increase in residential customer demand. Along with the decrease in natural gas prices, the decrease in demand caused the prices in the electricity wholesale markets to decrease. Although the fossil resources demand significantly decreased during the epidemic period, it remains uncertain for the post-epidemic period, there are signs that there may be changes in the global market structure, but the impact on renewable energy investments may be limited. On the renewable energy side, where energy investments have decreased significantly due to the epidemic, many investor companies are suffering from disruptions in the supply chain. However, the recovery of activities in China, the largest producer, will significantly reduce the negative impact in the short term.

**Keywords:** Covid-19 outbreak, Renewable energy sector, Sustainability transitions, Lockdown, Energy consumption.

## COVID-19 salgını yenilenebilir enerji sektörünü ve elektrik şebekesini nasıl etkiliyor?

### Öz

Günümüzde temiz enerjinin fosil yakıtlardan elde edilen enerjiden daha iyi olduğunu söylemek eski bir söylem haline geldi. Yeni olan şey, yenilenebilir enerji kaynaklarını salgının ekonomik ve sosyal iyileşme planlarının merkezine koyarak dünyanın temiz kalkınmayı hızlandırmak için eşsiz bir fırsata sahip olmasıdır. Covid-19 süreci, kişilerin bireysel olarak karantinaya alınmasıyla başlamış; işletmelerin kapanması, iş gücünün azalması, üretimde yaşanan ciddi sorunlar enerji sektörü de dâhil olmak üzere birçok sektörü etkilemiş, enerji sektöründe çalışan birçok kişinin maaşlarında kesintiye gidilmiş veya işten çıkartılmış ve hâlihazırda elektrik üretim tesislerinde devam eden inşaatlar durma noktasına gelmiştir. Bu çalışmada salgının yenilenebilir enerji sektörünü ve elektrik kullanımını nasıl etkilediği araştırıldı. "Covid yılı" olarak nitelenen 2020'de küresel enerji talebi düştü ancak tamamen çökmedi. Salgının sektörteki en büyük etkisi, endüstriyel talebin azaldığı ticarethanelerde ve üretim merkezlerinde hissedilmektedir, ancak konut müşteri talebinde artış gözlemlenmektedir. Doğalgaz fiyatlarındaki düşüş ve üretim fazlası olacağı tahminleri elektrik toptan satış fiyatlarının gerilemesine sebep oldu. Pandemi döneminde fosil kaynak talebinde ciddi oranda azalma salgın sonrası için meydana gelen olumsuz etkilerin ne kadar süreceği belirsizliğini korumakla birlikte, yenilenebilir enerji yatırımları üzerindeki etkisinin sınırlı kalabileceğine dair işaretler bulunmaktadır. Salgın nedeniyle enerji yatırımlarının önemli ölçüde azaldığı yenilenebilir enerji tarafında, yatırımcı birçok şirket tedarik zincirindeki bozulmalardan dolayı sıkıntı yaşamaktadır. Ancak, en büyük üretici konumunda olan Çin'deki üretim faaliyetlerin güç kazanmasıyla kısa vadede global enerji sektöründeki olumsuz etkiyi önemli ölçüde azaltacaktır.

**Anahtar Kelimeler:** Covid-19 salgını, Yenilenebilir enerji sektörü, Sürdürülebilirlik geçişleri, Karantina, Enerji tüketimi.

\* Corresponding Author: [huseyincoban@ardahan.edu.tr](mailto:huseyincoban@ardahan.edu.tr)

## 1. Introduction

A pandemic is known as an epidemic that spreads around the world, causing many people to get sick and die. Human history has witnessed many epidemics such as Ebola, SARS, Cholera, and MERS. Each epidemic has brought huge deaths, its global life, reaching a very large mass and spreading rapidly made these health crises difficult to control. The new type of Coronavirus disease 2019 (Covid-19) outbreak was declared as a pandemic by the World Health Organization on March 11, 2020, and has caused the deaths of 28638 people in Turkey and 2538681 people in the world by March 1, 2021 (WHO,2021). The virus, which spreads and affects all over the world rapidly, the number of cases and deaths has increased day by day. Each country is trying to reduce the impact of the epidemic with its own health system and policies implemented both economically and socially (Keith,2020).

Recently, Covid-19 and its effects on the international in various fields are being discussed all over the world. For example, during the Covid-19 outbreak, the effects on obesity (Abbas,2020), on daily life (Haleem et al.,2020), on the environment (Zambrano et al.,2020), on mitigating the health effects (Douglas et al.2020), on the nervous system (Iadecola et al.2020, Berger,2020), on business and research (Donthu and Gustafsson,2020), chemical effects of shutdowns on air quality (Kroll et al,2020), on the world economy (Fernandes,2020), on life sciences (Korbel and Stegle,2020), in the field of orthopedics (Haleem et al.,2020) are investigated. This pandemic, which affects the world, limits mobility both within and between countries while closing the countries within their borders (Pillai et al.,2020). In addition, worldwide production has slowed and trade has decreased significantly (Kejzar and Velic,2020). This decline was also reflected in the transportation sector, limiting both flights and travel by other vehicles to a great extent; in addition, quarantines or calls to stay in countries have reduced domestic transportation (Rayash and Dincer,2020).

With this general review of the literature, it is seen that there are very few studies on the effects of the Covid-19 epidemic on the energy sector. In this study, first of all, the literature related to the impact of crises on the energy sector is included. The economic effects of the Covid-19 virus on the energy sector in the global context have been tried to be determined and suggestions for the recovery of the energy sector after this epidemic have been developed.

## 2. The effects of Covid-19 outbreak on the energy sector

The energy sector is considered one of the most important economic areas for almost all countries today. Turkey's total installed power is 95000MW and the installed power distribution according to the source is; 31.4% hydraulic energy, 22.4% coal, 28.6% natural gas, 6.2% solar, 8.1% wind, 1.6% geothermal, and 1.7% is in the form of other sources (Gurel,2020). The pandemic is also characterized as an unprecedented crisis for the energy sector. It is known that the virus does not have a direct effect on the energy sector, as opposed to sectors such as health (Sanchez et al.,2020, Bostan et al.,2020) and tourism (Bakar and Rosbi,2020). While there has been a decrease in the energy demand of industry in countries that have implemented epidemic measures, the electricity consumption of residences has

increased due to the implementation of the stay home measure. Energy prices have fallen dramatically in the market. These developments, which may seem like an opportunity for energy consumers, necessitate new paradigms for the future of the energy sector, energy-generating power plant investors and electricity producers, and new period planning in order to sustain the energy market in a stable manner.

While global energy markets are going through a difficult period due to the decrease in demand caused by Covid-19, the impact of these developments on renewable energy resources investments is also discussed in different dimensions.

### 2.1. Investigation of Covid-19 process effects on the electricity demand

As seen in Figure 1, there are three days of a demand pattern that has a general shape for Turkey (Teias,2021). It chooses three weekdays; May 13th through 15th on 2020; Wednesday through Friday; and May 13th through 15th 2019, a Monday through Wednesday (Teias,2021). The situation pre-Covid, pre-stay at home works; there's sort of a dip and a flattening when people move from residential buildings into commercial buildings in the middle of the day. There's a second peak when people come home, they start cooking and turn on electric stoves, TVs, lights. This curve is the general trend of electricity consumption; it can be seen in most cities. When it is compared to those same three days in 2020; it is seen that the overall demand shape is relatively consistent. It's a little bit flatter and hard to see in the Figure-1 but overall, it has a 7% reduction. There has been a big decrease in commercial buildings consuming less electricity. A lot of businesses shut down to people moving at home and consuming more electricity during the day. It is a very interesting shift in electricity consumption that's resulted in fewer power plants turning on and fewer power plants generating electricity.

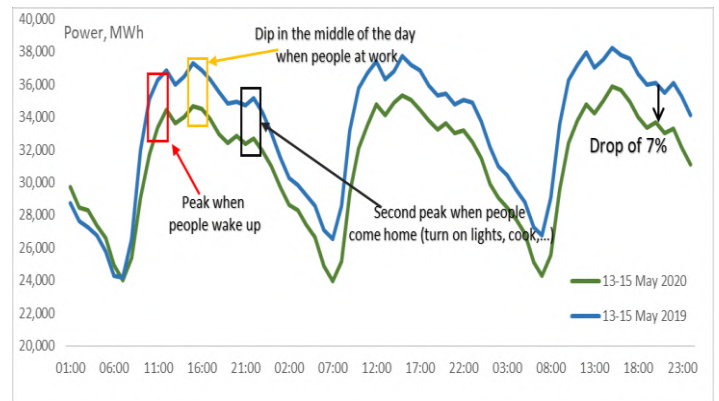


Figure 1. Electricity Demand for Turkey

Typically, rare events such as blackouts, heat waves, natural disasters have negative impacts on the electricity market. But in many countries under Covid-19, the prices are actually decreasing due to decreased demand (Tingting et al.,2021, Abadie,2021). Discussion on the possible effects of oil prices on the renewable energy sector continues within the framework of two different views.

One of the sides of the controversy argues that low oil prices will negatively affect the renewable energy sector. In other words, especially in the short term, the lack of demand in the energy market and the fall in oil prices are predicted to play a negative role in the energy transformation. Accordingly, the fact

that electric vehicles are much less competitive with the current decreasing gasoline and fuel prices is shown as a factor that will negatively affect the trend towards renewable energy investments. It is predicted that the reduction in prices, not only in terms of vehicles, will make the use of natural gas more meaningful than wind or solar energy in electricity generation, and therefore the idea that renewable energy will be less competitive in electricity generation will reduce investments in this sector (Hoang et al.,2021). Beyond these, the negative economic consequences of the current state of the energy market strengthen the possibility that the first areas for governments to compromise are renewable energy investments and support (Bravo and Monroy,2020, Dutta et al.,2020). Apart from this, renewable energy stands out as the most important obligations of states to reduce their emissions and transform the types of energy they use in combating climate change. Considering the current state of the energy market and prices, it can be shown as another possibility that states will tend to postpone this costly transformation, which will adversely affect renewable energy sector investments, at least in the short term (IEA,2021). In addition to these, natural gas prices are mostly determined in relation to oil prices. Since natural gas is also one of the important inputs used in electricity generation in many countries, the decrease in oil prices will reduce the price of natural gas and, therefore, the cost of electricity production will decrease (Karacan et al.,2021, Hosseini,2020). In this context, it is another prediction that this situation will adversely affect renewable energy investments as electrical energy produced from renewable energy will become uncompetitive at a higher cost.

On the second view about the possible effects of oil prices on the renewable energy sector, there is the prediction (Khan et al.,2017, Miketa and Merven,2013) that the current situation in the energy market and energy prices will not have a negative impact on renewable energy investments. The long-term planning of energy investments and changes in oil prices will not affect investments in other resources, even positively affected the returns of renewable energy firms (Zhao,2020). Therefore, the current decline in demand and the drop in oil prices will not affect long-term investment planning in the renewable energy sector. As in the 1973 oil crisis, as a result of the crisis, Western states, especially France had accelerated their nuclear energy investments in order not to experience such a crisis again (Issawi,1978). Countries took an alternative way to get rid of addiction. Crises had shown states that oil could be used as a foreign policy tool. The transformation of tensions between Russia and Ukraine in 2006, 2009, and 2014 into energy crises, and on the other hand, Russia's closure of the pipeline to Ukraine for a short time caused the energy security of European countries to be negatively affected, just like the 1973 crisis, pushed European states to seek alternatives to get rid of Russian dependence (Fernández et al.2020, Graaf and Colgan,2017). This alternative is renewable energy. Therefore, it seems difficult for such a long-term transformation process to be negatively affected by short-term decreases in demand and prices, especially in the long run.

Another claim of the view that the current state of the energy market will not adversely affect renewable energy investments is based on the international economic system. The economic crisis of 2008 affected almost the whole world negatively, production slowed down and the economies of the country suffered serious losses. Renewable energy has come to

the fore as a new product, a new market, and a new competition area that can revive the international economy during this economic recession (Maamary et al,2017, Brown and Ulgiati,2011). Therefore, it would not be wrong to think that a temporary decrease in demand and price will not affect the renewable energy sector negatively in the long run.

## 2.2. Exogenous shocks on the present impact

The data is on a granular scale in Ardahan city in the case of a residential building in the Camlicatak district. For a more detailed analysis in April, when the epidemic process accelerated, the same type of days (Wednesday, February 12th, and stay-at-home days Tuesday, April 14th. since i) they're weekdays, ii) people are normally at work, and iii) they have similar temperatures) was selected. Eventually, those days should have similar consumption patterns. The variation of consumption according to hours is given in Figure 2. As of April, curfews were implemented in certain periods, and the precautions are taken for the epidemic increased. Especially during the restriction period, consumption in households increased significantly. As observed in Figure 2, the biggest difference in consumption was for the hours of 08.00-22.00. The reason for this situation and the shifting of the consumption graph can be considered as the fact that people have switched to the remote working system due to the epidemic, workplaces and schools are closed, and the society is mostly at home (Kaushik and Guleria,2020). It increased from 16.9 kWh to 21.5 kWh which is pretty significant, that's a 29% increase in electricity consumption at the residential scale while the commercial-scale decreased due to people not going to work.

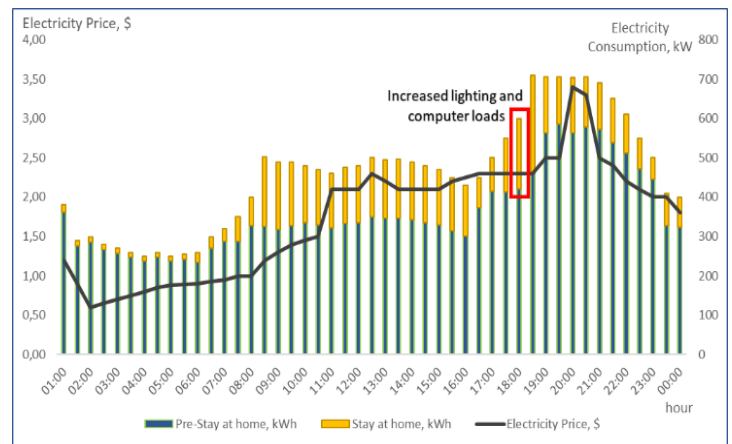


Figure 2. The residential energy consumption patterns

Beyond all this, Thomas Becker, President of the European Wind Energy Association, stated that the decline in oil prices will not reduce investment in renewable energy, the drop in oil prices was temporary, and the renewable energy transformation was not a new process, it started with the Ukraine crisis. Becker also stated that foreign dependency on energy is not sustainable, so renewable energy is a necessity in the long run to meet Europe's growing energy needs (Haase,2014).

In this context, it is possible to conclude that even if the decrease in demand due to the impact of the Covid-19 pandemic and the decrease in oil prices as a result of the Russia-Saudi Arabia oil price war may affect the renewable energy sector in the short term, it will not affect the renewable energy sector negatively in the long term. Because, first of all, it should be noted that the decrease in demand due to the effect of Covid-19



is a temporary situation. After the pandemic countries remove both domestic and international restrictions, demand will increase and the supply-demand assessment will be made again in this period. At the same time, states have to struggle with a phenomenon, such as climate change, whose effects are different but felt absolutely everywhere in the world. The main thing in this struggle is to change the type of energy used. Renewable energy is again the main pillar of this transformation. In this context, the renewable energy sector is one of the basic elements for sustainable development. With this feature, it will remain a necessity for states to be in investment planning in the long run.

The same situation is also true for the other parts of the renewable sector. These are also stated as common concerns for the hydro and solar industry. A Norway-based research company estimates that wind and solar-related growth will decrease by 10% in 2021 (Eckhouse and Martin,2020). Considering the effects on the solar energy sector, it is seen that delays have begun to occur in global supply chains and production (Zhang et al.2021). In particular, the global effects of China, which leads the production of equipment for the solar industry, will increase over time (Radu et al.,2020). Local production of solar panels will also be affected due to raw materials supplied from China, which will mean a short-term increase in the prices of solar panels and products worldwide. China's Photovoltaic Manufacturers Association (CPIA) states that the demand forecast for China will drop to 35GW - 45GW levels due to policy changes and delays (Osborne,2020). The quarantine process does not only slow down the sale of solar roof panels. Morgan Stanley notes that the industry is also harmed by the sudden decline in the housing industry and by consumers who stated that they could delay or cancel home renovations (Eckhouse and Martin,2020). The UK-based consulting firm Wood Mackenzie predicts a reduction of up to 50% in turbine installations (Sayigh,2020). In addition, it is estimated that 6 GW of wind capacity in the USA will be affected by the virus this year (Sayigh,2020). The extent of the impact on the businesses of the global wind turbine manufacturer Vestas is not yet clear (Weko et al.,2020). Blades and other components of Vestas wind turbines are produced in China. Many people have lost their jobs in the energy sector in the world, the clean energy sector in the US loses 18% of jobs during the epidemic (Reuters,2020), and more than a third of the wind energy industry workforce (Majumder et al.,2020). In the "Long-Term Electric Vehicle Outlook" report published by Bloomberg New Energy Finance, it was stated that the electric car market fell by 18% in 2020 due to the Covid-19 outbreak, and this decrease was 23% for internal combustion cars (Henze,2020).

### **3. Discussion**

Is increased use causing the grid to be more often outside specified voltage limits?

There haven't been a lot of issues with the grid like other hazards. The lessons that can be drawn are that the grid needs multiple parts to be working in unison in order to be effective. It can not continue to rely on the supply side of large-scale power plants to solve every issue. The demand side is what consumes this electricity that's being generated. The balance between these two sides has to increase and be more seamless in order for us to have continued resilience in the grid. The increase in electricity used on the demand side has impacts on the grid. The demand is decreasing, everything is positive, but the increase in demand at the residential level has caused some voltage problems. Because

*e-ISSN: 2148-2683*

people are consuming more in certain areas of the grid and less in other areas of the grid. There have been fluctuations in voltage due to power being consumed spatially in different locations. This is in contrast to just looking at aggregate consumption.

### **4. Conclusions and Recommendations**

After the Covid-19 virus turned into a global epidemic, the process that started with individuals staying at home also significantly affected production and the workforce. Many industries came to a standstill and the electric power generation sector was affected by the epidemic in most pricing. The effects of the coronavirus epidemic have reached the cancellation and postponement of numerous international industry events in the photovoltaic, wind, hydro, battery equipment supply chain. Necessary measures should be taken quickly in order to keep the progress in solar and wind energy against the epidemic, where the epidemic has caused serious disruptions in turbine component production and turbine maintenance in the wind energy sector.

It is obvious that renewables will pass through difficulties in the short term. However, looking at the long term, it can be said that positive offers are on the horizon. The big uncertainty is how long this crisis will last and how quickly renewables can gain a competitive advantage. The general results of the study can be listed as follows:

- The grid has proven to be resilient so far through the pandemic. This is a very good thing unlike other large-scale blackouts and storms and hazards the grid during Covid has been really resilient and really reliable.
- In the event that this period, in which industrial demand decreases and housing demand increases, prolongs, low wholesale electricity prices are expected to put pressure on producers.
- In this period, where renewable energy investments have been accelerated to take advantage of government incentives, the effects of Covid-19 on the supply chain pose a great challenge for investors.
- The biggest impact of Covid -19 on the industry was experienced in the decrease in industrial demand. Despite the decline in production centers and commercial establishments, there is an increase in residential customer demand. The decrease in demand caused price drops in the electricity wholesale markets. On the renewable energy side, despite the difficulties experienced due to disruptions in the supply chain, the short-term negative impact is expected to decrease over a certain period, thanks to the recovery of activities in China.
- The benefits that can be obtained from energy transformation for Turkey during and after the Covid -19 period can be listed under the headings of economic development and environmental quality.
- If energy-dependent countries such as Turkey can direct their energy investments to renewable energy and energy efficiency with domestic equipment production support, it could go a long way towards reviving the economy with new employment opportunities that can be created.
- Countries shouldn't lose sight of their sustainability goals. Many articles and news say that there are 15% reductions in carbon emissions due to staying at home. This is great, but we shouldn't let this distract us from our main goal of integrating renewable energy into the grid.

- Solar panels and wind turbines alone will not be able to solve climate change. On the demand side, we have to learn how to use electricity in a way that coincides with the way that the grid is operating.

## References

- Abadie, L. M. (2021). Energy market prices in times of COVID-19: The case of electricity and natural gas in Spain. *Energies*, 14(6), 1632. <https://doi.org/10.3390/en14061632>
- Abbas, A. M., Fathy, S. K., Fawzy, A. T., Salem, A. S., Shawky, M. S. (2020). The mutual effects of COVID-19 and obesity. *Obesity medicine*, 19, 100250. <https://doi.org/10.1016/j.obmed.2020.100250>
- Abu-Rayash, A., Dincer, I. (2020). Analysis of mobility trends during the COVID-19 coronavirus pandemic: Exploring the impacts on global aviation and travel in selected cities. *Energy research & social science*, 68, 101693. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2020.101693>
- Al-Maamary, H. M., Kazem, H. A., Chaichan, M. T. (2017). Renewable energy and GCC States energy challenges in the 21st century: A review. *International Journal of Computation and Applied Sciences IJOCAAS*, 2(1), 11-18.
- Bakar, N. A., Rosbi, S. (2020). Effect of Coronavirus disease (COVID-19) to tourism industry. *International Journal of Advanced Engineering Research and Science*, 7(4), 189-193. <https://dx.doi.org/10.22161/ijaers.74.23>
- Berger, J. R. (2020). COVID-19 and the nervous system. *Journal of neurovirology*, 26, 143-148. <https://doi.org/10.1007/s13365-020-00840-5>
- Bostan, S., Erdem, R., Öztürk, Y. E., Kılıç, T., Yılmaz, A. (2020). The Effect of COVID-19 Pandemic on the Turkish Society. *Electronic Journal of General Medicine*, 17(6). <https://doi.org/10.29333/ejgm/7944>
- Brown, M. T., Ulgiati, S. (2011). Understanding the global economic crisis: A biophysical perspective. *Ecological Modelling*, 223(1), 4-13. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2011.05.019>
- B. Majumder, S. Hardin, C. Moser, (2020), The Impact of the Coronavirus on the Renewable Energy Industry <https://www.americanprogress.org/issues/green/news/2020/04/15/483219/impact-coronavirus-renewable-energy-industry/>
- Cansado-Bravo, P., Rodríguez-Monroy, C. (2020). The Effects of Structural Breaks on Energy Resources in the Long Run. Evidence from the Last Two Oil Price Crashes before COVID-19. *Designs*, 4(4), 49. <https://doi.org/10.3390/designs4040049>
- Donthu, N., Gustafsson, A. (2020). Effects of COVID-19 on business and research. *Journal of business research*, 117, 284. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2020.06.008>
- Douglas, M., Katikireddi, S. V., Taulbut, M., McKee, M., McCartney, G. (2020). Mitigating the wider health effects of covid-19 pandemic response. *Bmj*, 369. <https://doi.org/10.1136/bmj.m1557>
- Dutta, A., Jana, R. K., Das, D. (2020). Do green investments react to oil price shocks? Implications for sustainable development. *Journal of Cleaner Production*, 266, 121956. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121956>
- Eckhouse, B., Martin, C. (2020). Coronavirus Crushing Global Forecasts for Wind and Solar Power. *Bloomberg Green*.
- Fernandes, N. (2020). Economic effects of coronavirus outbreak (COVID-19) on the world economy. Available at SSRN 3557504. <https://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3557504>
- Gurel, B. (2020). Türkiye'deki Güncel Biyokütle Potansiyelinin Belirlenmesi ve Yakılmasıyla Enerji Üretimi İyi Bir Alternatif Olan Biyokütle Atıklar İçin Sektörel Açından ve Toplam Yanma Enerji Değerlerinin Hesaplanması. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 8(2), 407-416. <https://doi.org/10.21923/jesd.671767>
- Haleem, A., Javaid, M., Vaishya, R. (2020). Effects of COVID 19 pandemic in daily life. *Current medicine research and practice*. <https://doi.org/10.1016/j.cmrp.2020.03.011>
- Haleem, A., Javaid, M., Vaishya, R., Vaish, A. (2020). Effects of COVID-19 pandemic in the field of orthopaedics. *Journal of clinical orthopaedics and trauma*, 11(3), 498. <https://doi.org/10.1016/j.jcot.2020.03.015>
- Hoang, A. T., Nižetić, S., Olcer, A. I., Ong, H. C., Chen, W. H., Chong, C. T., ... Nguyen, X. P. (2021). Impacts of COVID-19 pandemic on the global energy system and the shift progress to renewable energy: Opportunities, challenges, and policy implications. *Energy Policy*, 154, 112322. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2021.112322>
- Hosseini, S. E. (2020). An outlook on the global development of renewable and sustainable energy at the time of COVID-19. *Energy Research & Social Science*, 68, 101633. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2020.101633>
- Iadecola, C., Anrather, J., Kamel, H. (2020). Effects of COVID-19 on the nervous system. *Cell*. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2020.08.028>
- IEA, Renewable Energy Market Update Outlook for 2020 and 2021, International Energy Agency, p:16.
- Issawi, C. (1978). The 1973 oil crisis and after. *Journal of Post Keynesian Economics*, 1(2), 3-26. <https://doi.org/10.1080/01603477.1978.11489099>
- Karacan, R., Mukhtarov, S., Barış, İ., İşleyen, A., Yardımcı, M. E. (2021). The Impact of Oil Price on Transition toward Renewable Energy Consumption? Evidence from Russia. *Energies*, 14(10), 2947. <https://doi.org/10.3390/en14102947>
- Kaushik, M., Guleria, N. (2020). The impact of pandemic COVID-19 in workplace. *European Journal of Business and Management*, 12(15), 1-10. <https://doi.org/10.7176/ejbm/12-15-02>
- Keith, K. (2020). COVID-19 Package# 3: The coverage provisions. *Health Affairs blog*. [https://www.healthaffairs.org/doi/10.1377/hblog20200320\\_739699](https://www.healthaffairs.org/doi/10.1377/hblog20200320_739699)
- Kejzar, K. Z., Velic, A. (2020). Covid-19, trade collapse and GVC linkages: European experience. *Covid Economics*, 61, 222-244.
- Khan, M. I., Yasmeen, T., Shakoor, A., Khan, N. B., Muhammad, R. (2017). 2014 oil plunge: Causes and impacts on renewable energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 68, 609-622. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.10.026>
- Korbel, J. O., Stegle, O. (2020). Effects of the COVID-19 pandemic on life scientists. <https://doi.org/10.1186/s13059-020-02031-1>
- Kroll, J. H., Heald, C. L., Cappa, C. D., Farmer, D. K., Fry, J. L., Murphy, J. G., Steiner, A. L. (2020). The complex chemical effects of COVID-19 shutdowns on air quality. *Nature Chemistry*, 12(9), 777-779. <https://doi.org/10.1038/s41557-020-0535-z>

- Miketa, A., Merven, B. (2013). West African power pool: Planning and prospects for renewable energy.
- N. Haase (2014), DW <https://www.dw.com/en/what-future-for-eus-energy-supply/a-17542697>
- Osborne M., "BloombergNEF cuts global solar demand forecast on coronavirus concerns", <https://www.pv-tech.org/news/bloombergnef-cuts-global-solar-demand-forecast-on-coronavirus-concerns>
- Pereira-Sanchez, V., Adiukwu, F., El Hayek, S., Bytyçi, D. G., Gonzalez-Diaz, J. M., Kundadak, G. K., ... da Costa, M. P. (2020). COVID-19 effect on mental health: patients and workforce. *The Lancet Psychiatry*, 7(6), e29-e30. [https://doi.org/10.1016/S2215-0366\(20\)30153-X](https://doi.org/10.1016/S2215-0366(20)30153-X)
- Pillai, S., Siddika, N., Apu, E. H., Kabir, R. (2020). COVID-19: Situation of European countries so far. *Archives of medical research*, 51(7), 723-725. <https://doi.org/10.1016/j.arcmed.2020.05.015>
- Radu, A., Panaite, C. E., Popescu, A. (2020, December). Impact of COVID-19 pandemic on renewable sources implementation: case of PV systems in Romania. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 997, No. 1, p. 012154). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/997/1/012154>
- Reuters, (2020) Oil Report, June 15, 2020, US clean energy sector loses 18% of jobs during pandemic, <https://www.reuters.com/article/usa-clean-energy-jobs/us-clean-energy-sector-loses-18-of-jobs-during-pandemic-report-idINL1N2DS18M?edition-redirect=in>
- Rodríguez-Fernández, L., Carvajal, A. B. F., Ruiz-Gómez, L. M. (2020). Evolution of European Union's energy security in gas supply during Russia-Ukraine gas crises (2006-2009). *Energy Strategy Reviews*, 30, 100518. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2020.100518>
- Sayigh, A. (2020). Solar and wind energy will supply more than 50% of world electricity by 2030. In *Green Buildings and Renewable Energy* (pp. 385-399). Springer, Cham.
- TEİAŞ YTBS, [https://ytbsbilgi.teias.gov.tr/ytbsbilgi/frm\\_istatistikler.jsf](https://ytbsbilgi.teias.gov.tr/ytbsbilgi/frm_istatistikler.jsf)
- Tingting Xu, A., Weijun Gao, B., Yanxue Li, C., Fanyue Qian, D. (2021). Impact of the COVID-19 pandemic on the reduction of electricity demand and the integration of renewable energy into the power grid. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 13(2), 026304. <https://doi.org/10.1063/5.0045825>
- Van de Graaf, T., Colgan, J. D. (2017). Russian gas games or well-oiled conflict? Energy security and the 2014 Ukraine crisis. *Energy Research & Social Science*, 24, 59-64. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2016.12.018>
- Weko, S., Eicke, L., Quitzow, R., Bersalli, G., Lira, F., Marian, A., ... Xue, B. (2020). Covid-19 and Carbon Lock-In: Impacts on the Energy transition.
- World Health Organization (WHO), <https://covid19.who.int/region/euro/country/tr>
- Zambrano-Monserrate, M. A., Ruano, M. A., Sanchez-Alcalde, L. (2020). Indirect effects of COVID-19 on the environment. *Science of the Total Environment*, 728, 138813. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138813>
- Zhang, H., Yan, J., Yu, Q., Obersteiner, M., Li, W., Chen, J., ... Shibasaki, R. (2021). 1.6 million transactions replicate distributed PV market slowdown by COVID-19 lockdown. *Applied Energy*, 283, 116341. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.116341>
- Zhao, X. (2020). Do the stock returns of clean energy corporations respond to oil price shocks and policy uncertainty? *Journal of Economic Structures*, 9(1), 1-16. <https://doi.org/10.1186/s40008-020-00229-x>
- Veronika Henze, (2020). Electric Vehicle Sales to Fall 18% in 2020 but Long-term Prospects Remain Undimmed. BloombergNEF.



# Numerical Modelling of Flood Induced Seepage Under Levees

Aykut Semerci<sup>1\*</sup>, Gökmen Tayfur<sup>2</sup>, Hasan Fırat Pulat<sup>3</sup>

<sup>1\*</sup> Pamukkale University, Department of Architecture and City Planning, Denizli, Turkey, (ORCID: 0000-0002-2532-8868), asemerci@pau.edu.tr

<sup>2</sup> Izmir Institute of Technology, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, İzmir, Turkey, (ORCID: 0000-0001-9712-4031), gokmentayfur@iyte.edu.tr

<sup>3</sup> Izmir Katip Çelebi University, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, İzmir, Turkey, (ORCID: 0000-0002-8298-7106), hfrat.pulat@ikcu.edu.tr

(First received 29 March 2021 and in final form 18 September 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.904874)

**ATIF/REFERENCE:** Semerci, A., Gökmen, T. & Pulat, H.F. (2021). Numerical Modelling of Flood Induced Seepage Under Levees. *European Journal of Science and Technology*, (27), 495-507.

## Abstract

Flood creates the most complex problems of engineering hydrology and extreme flood contains the crucial risk for urban areas, infrastructure, industry and agriculture. The aim of this paper is to study the transient flow caused by flood for levee of Filyos River. Numerical modeling based on finite element method was performed in the analyses. PlaxFlow which is an add-on module to Plaxis 2D, is used for the time variation of seepage in several points of interest within the levee. Exit velocity at several points of interest within the levee and degree of saturation of levee and hydraulic gradient were investigated. In addition, under seepage of water through different soil types underneath Filyos levee was examined. The results of transient flow analyses when piping occurred and sand boil formed were presented for different soil types.

**Keywords:** Seepage, Transient Flow, Levee, Flood, Finite Elements Method.

## Sedde Altında Taşkın Kaynaklı Sızmanın Nümerik Modellenmesi

### Öz

Taşkın, mühendislik hidrolojisinin en karmaşık sorunlarını meydana getirir ve aşırı taşkın, kentsel alanlar, altyapı, sanayi ve tarım için hayati riskleri içerir. Bu makalenin amacı, Filyos Nehri seddesi üzerinde taşkınların neden olduğu düzensiz akışı incelemektir. Analizlerde sonlu elemanlar yöntemine dayalı sayısal modelleme yapılmıştır. Plaxis 2D'ye bir eklenti modülü olan PlaxFlow, program dahilindeki çeşitli ilgi noktalarında sızmanın zaman değişimi analizi için kullanılır. Seddenin çeşitli ilgi noktalarında çıkış hızı, hidrolik eğim ve doyum derecesi incelenmiştir. Ayrıca Filyos seddesinin altındaki farklı zemin türleri için su sızıntısı da incelenmiştir. Borulama meydana geldiğinde ve oluşan kum kaynamasında meydana gelen düzensiz akış analizlerinin sonuçları farklı zemin tipleri için sunulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Sızma, Düzensiz Akış, Sedde, Taşkın, Sonlu Elemanlar Methodu.

\* Corresponding Author: [asemerci@pau.edu.tr](mailto:asemerci@pau.edu.tr)

## 1. Introduction

Floods are one of the most complex and important problems of engineering hydrology. It is a widespread problem in many countries, including Turkey. They form the risk for urban areas, infrastructure, industrial structures and agriculture. Filyos River basin covers area of 13.300 km<sup>2</sup> in the Western Black Sea region in Zonguldak (Figure 1). The project area is 203 km at the east-west direction, at 120 km north-south direction and the slope of the river is quite small. Project area is located at the Filyos river in the north of the area of rainfall and Filyos River flood plain of a north-south direction is 33.35 km long. Filyos river and tributaries of the river as Yenice, Devrek, Soganlı and Arac river form water sources of project area. Yenice River is the biggest tributary of the Filyos River Side.



Figure 1. Filyos River Basin (Atış, 2019)

## 2. Material and Method

Levees are embankments constructed of compacted earthen material. These materials can be impervious and semi-impervious but sometimes there may be pervious levee fill such as sands or gravels. Levees are generally constructed for floods of range of frequencies 50 years (average between 25 or 100 years). Slope of levee outline is chosen as equal slope of water surface during flood. Phreatic line of filling determines the size of levee. The flood protection project of Filyos River included the construction of a total 7 km of levee, and these levees are 3.5 km long along the right and left shore. Distance between two levees is approximately 300 m and the levee height is 6.7 m (Figure 2).

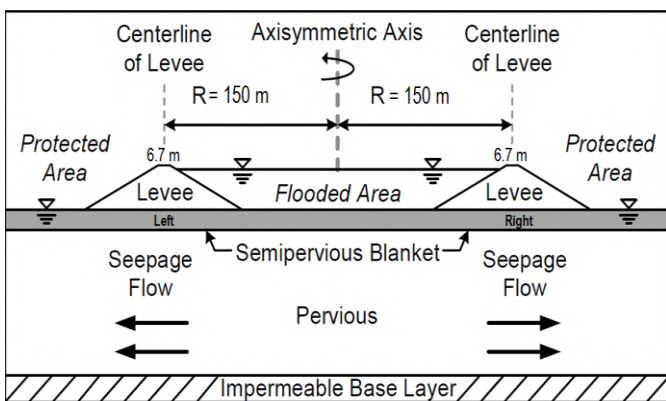


Figure 2. Filyos River Levees

The most important parameters for designing a levee are the precipitation and runoff of rivers. The relation between the time and height of the water was assumed as stable while Filyos levee is designed. In other words, a steady-state seepage occurs when hydraulic head, flow rate or given soil hydraulic properties are not

changing with time. In transient flows, the variables depend on time (Figure 3). Steady-state seepage as a “saturated” flow condition and transient seepage as a “partially saturated or unsaturated” flow condition. Transient analyses can be successful to estimate the development of the uplift forces, exit gradients for the factor of safety against uplift, or the heave pressures acting on the base of a top stratum in regard to hydrograph for the flood event (Tracy et al., 2016). Transient flow is determined in an isotropic and homogeneous soil domain by the following partial differential equation.

$$\text{div}[k\text{grad}(h)] + c \frac{\partial h}{\partial t} = Q \quad (1)$$

where;

k =hydraulic conductivity of soil

h =hydraulic head

c =specific capacity of soil

t =elapsed time

Q=discharge quantity

Unit hydrograph is the most popular method and widely used one for predicting flood hydrograph. It must be obtained for transient seepage analyses. There are widely used flood estimation methods such as statistical, rational, Mockus and Synder methods (Gulbahar, 2016). Every method has some significant limited conditions and these methods can give different results even for the same basin. A suitable method should be selected according to meteorological, hydrologic, topographic conditions of a basin.

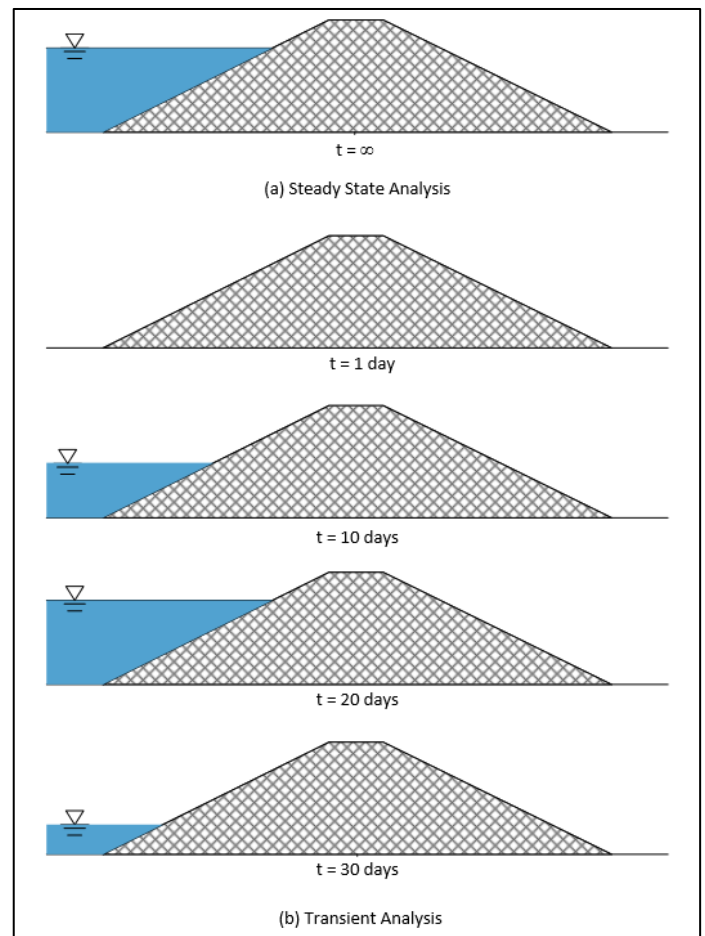


Figure 3. Steady-state and transient boundary conditions on riverside of levee (Tracy et al., 2016)

### 2.1. Determining Unit Hydrograph and Flow Hydrograph

Unit hydrograph is the most popular method and widely used method for predicting flood hydrograph. Snyder method is used due to the fact that flood basin of Filyos river is larger than 1000 km<sup>2</sup>. The basin characteristics which are area, shape, topography, channel slope, stream density are affected the shape of unit hydrograph is the main idea of this method. The unit hydrograph graph is obtained with the help of (q<sub>v</sub>) yield value. Figure 4 is used to find width of hydrograph. 0.75 q<sub>p</sub> and 0.50 q<sub>p</sub> is equal to T<sub>w75</sub> and T<sub>w50</sub> to obtain unit hydrograph. Peak discharge is calculated according to equation 7.

$$\begin{aligned}
 L &= 195 \text{ km} \\
 L_c &= 92 \text{ km} \\
 t_p &= C_t * (L * L_c) * 0,3 = 30.8 \text{ hr} \quad (2) \\
 t_r &= t_p / 5.5 = 5.5 \text{ hr} \quad (3) \\
 q_p &= 2760 * C_p / t_p = 54.8 \text{ (lt/s/km}^2\text{/cm)} \quad (4) \\
 Q_p &= q_p * A * 10^{-3} = 72.8 \text{ (m}^3\text{/s/mm)} \quad (5) \\
 N &= 0.9 * A * 0,2 = 6 \text{ days} \quad (6) \\
 Q_p &= q_p * A * 10^{-3} = 72.8 \text{ (m}^3\text{/s/mm)} \quad (7) \\
 T_{w50} &= 58 \text{ hr} \quad 1/3.T_{w50} = 19.3 \text{ hr} \quad 2/3.T_{w50} = 38.7 \text{ hr} \\
 T_{w75} &= 35 \text{ hr} \quad 1/3.T_{w75} = 12 \text{ hr} \quad 2/3.T_{w75} = 23 \text{ hr}
 \end{aligned}$$

where;  
 L = Length of levee  
 L<sub>c</sub> = Length of between the centry of gravity of basin and exit point of basin  
 C<sub>t</sub> = Basin coefficient  
 C<sub>p</sub> = Basin coefficient

t<sub>p</sub> = The time of duration for peak discharge  
 t<sub>r</sub> = The time of effective precipitation  
 q<sub>p</sub> = Peak discharge per unit area  
 A = Area of basin  
 N = Fall time of the flood level

Table 1.Filyos River Flood Peak Calculation

Filyos River Flood Peak Calculation	
100-Year Precipitation Height of the Basin (mm)	85.82
Critical Rainfall Time (hr)	24
Total Flow (mm)	29.12
Q <sub>p</sub> (m <sup>3</sup> /s/mm)	72.8
Peak Discharge of Hydrograph (m <sup>3</sup> /s)	2120

Figure 4 shows a relation between the discharge and time. Figure 5 presents relation river level and time during the flood. Peak discharge is 2120 m<sup>3</sup>/s at 6.5 meter high of levee and the time of duration for peak discharge (T<sub>p</sub>) completed 30.8 hours (Akdeğirmen et al., 2008). The fall time of the flood level is 144 hours. Time of duration of hydrograph of Filyos River approximately completed 7.5 days. The levee height is designed as 6.7 meters and air share of levee is 0.2 meters. The maximum discharge reaches 6.5 meters of the levee. In PlaxFlow, data of the change of flood height depending on time was entered. Consequently, seepage was investigated the change of flood height depending on time (transient analysis) in Filyos levees. Therefore, in each seepage analysis, flood height-time graph data is used.

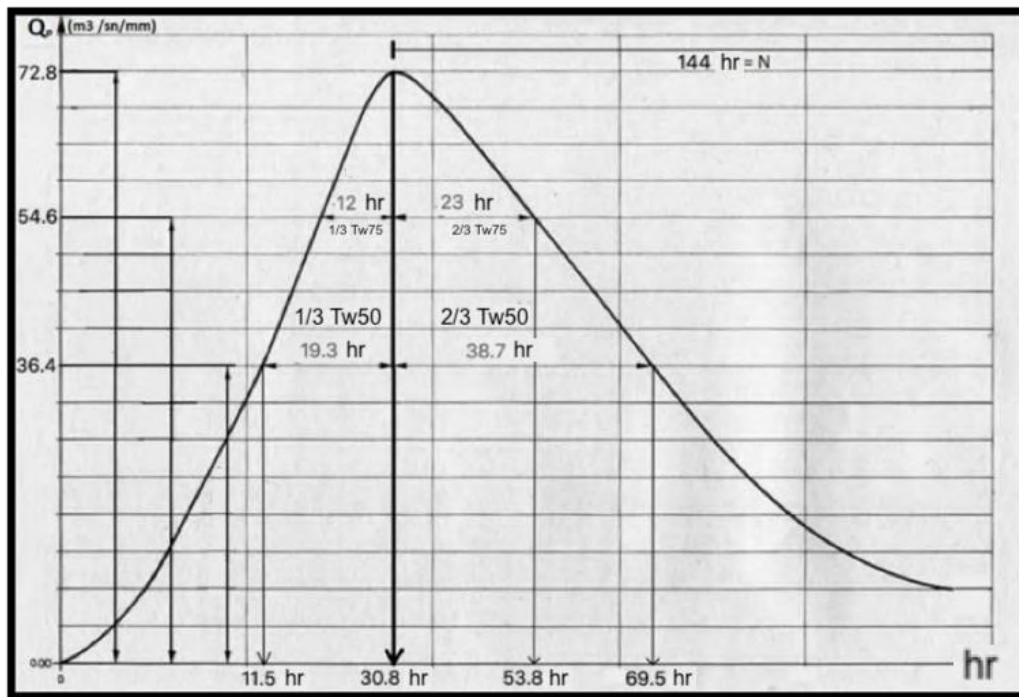


Figure 4. Unit Hydrograph of Snyder Method (Çelik, 2012)

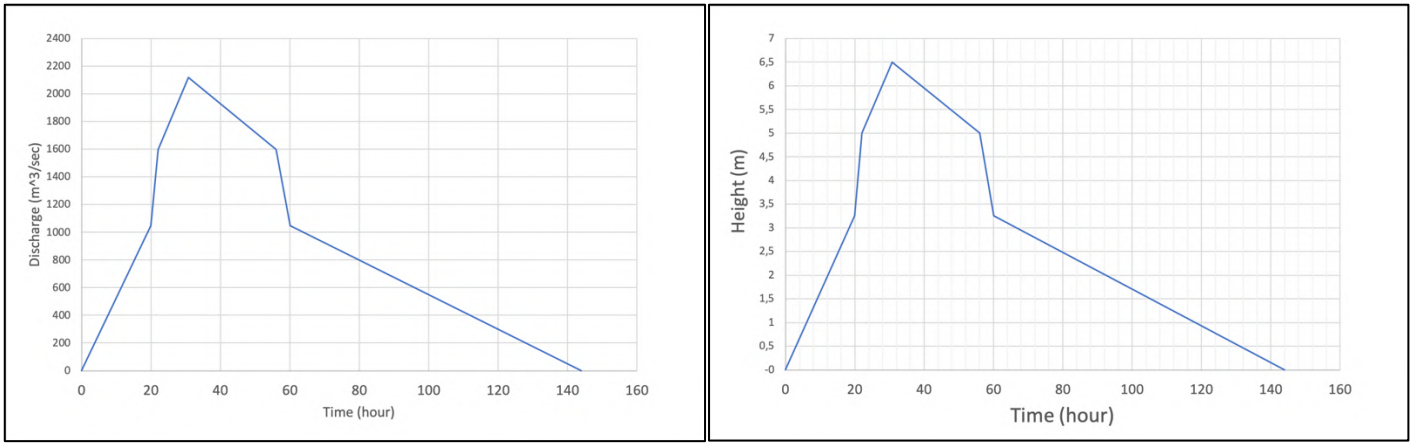


Figure 5. Flow hydrograph relation between the river height, discharge and time

## 2.2. Permeability of Soils

Soil permeability is a property of the soil transmitting water and it is one of the most important qualities to consider for seepage analyses. The permeability of soils is really important to determine the effect on stability of foundations, seepage loss through embankments of reservoirs, drainage of subgrades, excavation of open cuts in water bearing sand, rate of flow of water into wells and many others. Soil permeability is influenced by many factors such as pore size, particle shape, particle density, fluid density and number of pores. In 1856, Darcy found a linear relationship between the seepage velocity and hydraulic gradient.

$$v = k \cdot i \quad (\text{Terzaghi et al, 1996}) \quad (8)$$

where;

$v$  = seepage velocity (m/s)

$k$  = soil permeability (m/s)

$i$  = Hydraulic gradient

## 2.3. Seepage and Erosion

The interaction between soils and percolating water influences the design of foundations and earth slopes and the quantity of water that lost by leakage through some hydraulic structures (Murthy, 2018). Foundation failures happens due to excess pressure of water which tries to lift up the soil on downstream sides of some hydraulic structures. Erosion is called that soil particles are removed and carried with the water flow due to the fact that erosion resistant forces are less than seepage forces (Lopez et al., 2010). The soil erosion problems may occur in river banks and factors affecting soil erosion are the erodibility of the soil, the water velocity inside the soil mass or the water velocity on a river and geometry of levee (Lopez et al., 2010). If the hydraulic gradient reaches the critical hydraulic gradient, the balance in the soil mass is distorted and it moves up (Lopez et al., 2010). The soil surface floats and the soil – water mixture exits on the surface. This is called piping or internal erosion. Heaving can be observed when seepage forces push the substrata upward.

$$i_c = \frac{\gamma'}{\gamma_w} = \frac{G_s - 1}{1 + e} \quad (9)$$

where;

$i_c$  = critical hydraulic gradient

$\gamma'$  = effective unit weight of soil

$\gamma_w$  = unit weight of water

$G_s$  = specific gravity of soil

$e$  = void ratio of soil

## 2.4. Development of Underseepage and Sand Boils

During a flood, holes or cracks under the levee structure occur due to increasing in water pressure. Thus; piping through sand, silty sand, sandy silt and silty soils happens because of underseepage at the levee. A sand boil forms that water seeps through pipes from the water side to the land side of the levee and carries levee foundation material out from underneath of the levee. The critical gradient is the important parameter to cause sand boils or heaving. Critical gradients for silty clay and clay are 0.8 and for silty sands and silts are 0.85.

## 2.5. Investigation Soil Properties for Piping

Piping can be observed in sandy gravelly soils that have small quantities of fine particles and for these soils  $d_{10} = 0.25$  mm,  $C_u > 20$ ,  $C_c > 3$  for the piping. In general, higher critical exit gradients are observed for the coarser and the denser sand (Ozkan, 2003). Ozkan S. (2003) observed that 98 % by weight of eroded grains were smaller than 0.125 mm in diameter for sand boil formation during Mississippi River flood of 1993. Sherard et al. (1972) showed that non cohesive silt, rock flour and very fine sands disperse in water and may be highly erosive (Ozkan, 2003).

## 3. Materials

Drilling must be made in order to know the soil properties by using SPT testings. Since the alluvium forming the basement floor is very variable in Filyos basin, it was better to perform shallower and frequent foundation drilling. Six drillings were drilled at 30 meters deep on the left shore and, on the right shore, a total of five drillings were drilled at depths of 30 m depend on project. Table 2 presents the depth and locations of the drilled wells. Table 5 presents the soil properties of Filyos River basin. As an example, Table 6 presents the soil properties along a depth of TSK-1 drilled well. TSK- X is called name of drillings points that is stayed landside. Tests of determining the mentions soil parameter are gravity of soil solids by water pycnometer; relative density test; standard test for density of soil in place by the drive-cylinder method.

Table 2. Depth and location properties of foundation drilling wells

No	Drilling No	Well Point	Locations (km)	Depth (m)
1	TSK-1	Left Shore	0+044.24	30
2	TSK-2	Left Shore	0+511.29	30
3	TSK-3	Left Shore	1+010.63	30
4	TSK-4	Left Shore	1+513.22	30
5	TSK-5	Left Shore	2+005.66	30
6	TSK-6	Left Shore	2+501.94	30
7	TSK-9	Right Shore	0+271.05	30
8	TSK-10	Right Shore	0+758.18	30
9	TSK-11	Right Shore	1+256.40	30
10	TSK-12	Right Shore	1+762.17	30
11	TSK-13	Right Shore	2+327.64	30

Table 3. Specific Gravity Standard (Hosni, 2015)

Soil Type	G <sub>s</sub> values
Sand	2.63-2.67
Clay	2.65-2.7
Clay and Silty Clay	2.67-2.9
Organic soil	Less than 2

Table 4. Void Ratio-Unit Weight Standards (Han, 2018)

Soil Type	e (void ratio)	$\gamma_{sat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )
Uniform sand	1.0 - 0.40	13.2-21.4	13-18.5
Silty Sand	0.9 - 0.3	13.8-22.3	13.7-19.9
Clean, well-graded sand	0.95 - 0.2	13.5-23.2	13.4-21.7
Silty Sand and Gravel	0.85 - 0.14	14.1-24.3	14.0-22.9
Sandy or Silty Clay	1.8 - 0.25	15.7-23.1	9.4-21.2
Well Graded Sand, Gravel, Silt and Clay Mixture	0.7 - 0.13	19.6-24.5	15.7-23.2

Table 5. Soil Properties Of Filyos Basin

Soil Type	G <sub>s</sub> (Specific Gravity)	e (void ratio)	$\gamma_{sat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_s$ (kN/m <sup>3</sup> )
Clayey Silt	2.70	0.90	18.6	26.5
Silty Clay	2.75	1.78	16.0	27.0
Clayey Sand	2.67	0.43	21.3	26.2
Sand	2.68	0.55	20.4	26.3
Gravelly Sand	2.66	0.62	19.9	26.1
Gravel	2.65	0.27	22.6	26.0
Silty Sand	2.69	0.43	21.4	26.4
Sandy Silt	2.68	0.85	18.7	26.3
Sandy Clay	2.72	0.47	21.3	26.7
Sandy Gravel	2.65	0.50	20.6	26.0
Clay	2.80	1.85	16.0	27.5
Silt	2.70	1.10	17.8	26.5
Gravelly Clay	2.71	0.80	19.1	26.6
Gravelly Silt	2.69	0.75	19.3	26.4



Table 6. Soil Properties of TSK-1

Depth(m)	Soil Type	Permeability(k) (m/sec)	Specific Gravity (Gs)	Void Ratio (e)
0.0-6.0	Clayey Silt	$1 \times 10^{-7}$	2.70	0.90
6.0-27.5	Silty Clay	$5 \times 10^{-8}$	2.75	1.78
27.5-29.0	Clayey Silt	$1 \times 10^{-7}$	2.70	0.90
29.0-30.0	Silty Clay	$5 \times 10^{-8}$	2.75	1.78

Table 7. Soil Properties of TSK-2

Depth(m)	Soil Type	Permeability(k) (m/sec)	Specific Gravity (Gs)	Void Ratio (e)
0.0-2.0	Clayey Sand	$1 \times 10^{-6}$	2.67	0.43
2.0-3.0	Silty Clay	$5 \times 10^{-8}$	2.75	1.78
3.0-3.5	Clayey Sand	$1 \times 10^{-6}$	2.67	0.43
3.5-10.0	Silty Clay	$5 \times 10^{-8}$	2.75	1.78
10.0-10.5	Sand	$1 \times 10^{-4}$	2.68	0.55
10.5-12.0	Silty Clay	$5 \times 10^{-8}$	2.75	1.78
12.0-12.5	Clayey Sand	$1 \times 10^{-6}$	2.67	0.43
12.5-13.5	Silty Clay	$5 \times 10^{-8}$	2.75	1.78
13.5-14.0	Clayey Sand	$1 \times 10^{-6}$	2.67	0.43
14.0-14.50	Silty Clay	$5 \times 10^{-8}$	2.75	1.78
14.5-18.5	Gravelly Sand	$5 \times 10^{-4}$	2.66	0.62
18.5-19.0	Silty Clay	$5 \times 10^{-8}$	2.75	1.78
19.0-20.0	Gravelly Sand	$5 \times 10^{-4}$	2.66	0.62
20.0-20.5	Silty Clay	$5 \times 10^{-8}$	2.75	1.78
20.5-23.0	Gravelly Sand	$5 \times 10^{-4}$	2.66	0.62
23.0-23.5	Gravel	$1 \times 10^{-2}$	2.65	0.27
23.5-30.0	Gravelly Sand	$5 \times 10^{-4}$	2.66	0.62

Table 8. Soil Properties of TSK-3

Depth (m)	Soil Type	Permeability(k) (m/sec)	Specific Gravity (Gs)	Void Ratio (e)
0.0-0.6	Silty Clay	$5 \times 10^{-8}$	2.75	1.78
0.6-4.0	Silty Sand	$1 \times 10^{-6}$	2.69	0.43
4.0-8.0	Gravel	$1 \times 10^{-2}$	2.65	0.27
8.0-10.0	Silty Sand	$1 \times 10^{-6}$	2.69	0.43
10.0-20.0	Sand	$1 \times 10^{-4}$	2.68	0.55
20.0-28.0	Clayey Silt	$1 \times 10^{-7}$	2.70	0.90
28.0-29.0	Silty Clay	$5 \times 10^{-8}$	2.75	1.78
29.0-30.0	Clayey Silt	$1 \times 10^{-7}$	2.70	0.90

Table 9. Soil Properties of TSK-4

Depth(m)	Soil Type	Permeability(k) (m/sec)	Specific Gravity (Gs)	Void Ratio (e)
0.0-2.0	Sand	$1 \times 10^{-4}$	2.68	0.55
2.0-2.5	Sandy Silt	$1 \times 10^{-7}$	2.68	0.85
2.5-3.5	Sandy Clay	$1 \times 10^{-6}$	2.72	0.47
3.5-7.0	Gravelly Sand	$5 \times 10^{-4}$	2.66	0.62
7.0-10.0	Sand	$1 \times 10^{-4}$	2.68	0.55
10.0-12.0	Gravelly Sand	$5 \times 10^{-4}$	2.66	0.62
12.0-14.0	Silty Sand	$1 \times 10^{-6}$	2.69	0.43
14.0-17.5	Silty Clay	$5 \times 10^{-8}$	2.75	1.78
17.5-18.5	Sandy Clay	$1 \times 10^{-6}$	2.72	0.47
18.5-20.5	Clayey Sand	$1 \times 10^{-6}$	2.67	0.43
20.5-23.0	Sand	$1 \times 10^{-4}$	2.68	0.55
23.0-24.0	Silty Clay	$5 \times 10^{-8}$	2.75	1.78
24.0-24.5	Sand	$1 \times 10^{-4}$	2.68	0.55
24.5-25.5	Silty Clay	$5 \times 10^{-8}$	2.75	1.78
25.5-28.5	Sand	$1 \times 10^{-4}$	2.68	0.55
28.5-30.0	Silty Clay	$5 \times 10^{-8}$	2.75	1.78

Table 10. Soil Properties of TSK-5

Depth(m)	Soil Type	Permeability(k) (m/sec)	Specific Gravity (Gs)	Void Ratio (e)
0.0-4.0	Sandy Silt	$1 \times 10^{-7}$	2.68	0.85
4.0-8.0	Silty Sand	$1 \times 10^{-6}$	2.69	0.43
8.0-28.0	Silty Clay	$5 \times 10^{-8}$	2.75	1.78
28.0-30.0	Clayey Silt	$1 \times 10^{-7}$	2.70	0.90

Table 11. Soil Properties of TSK-6

Depth(m)	Soil Type	Permeability(k) (m/sec)	Specific Gravity (Gs)	Void Ratio (e)
0.0-2.0	Silty Sand	$1 \times 10^{-6}$	2.69	0.43
2.0-3.0	Silty Clay	$5 \times 10^{-8}$	2.75	1.78
3.0-4.0	Gravel	$1 \times 10^{-2}$	2.65	0.27
4.0-12.0	Gravelly Sand	$5 \times 10^{-4}$	2.66	0.62
12.0-12.5	Gravel	$1 \times 10^{-2}$	2.65	0.27
12.5-15.5	Gravelly Sand	$5 \times 10^{-4}$	2.66	0.62
15.5-16.5	Gravel	$1 \times 10^{-2}$	2.65	0.27
16.5-23.0	Gravelly Sand	$5 \times 10^{-4}$	2.66	0.62
23.0-28.5	Silty Clay	$5 \times 10^{-8}$	2.75	1.78
28.5-30.0	Silty Sand	$1 \times 10^{-6}$	2.69	0.43

Table 12. Soil Properties of TSK-9

Depth(m)	Soil Type	Permeability(k) (m/sec)	Specific Gravity (Gs)	Void Ratio (e)
0.0-2.5	Silty Clay	$5 \times 10^{-8}$	2.75	1.78
2.5-4.0	Silty Sand	$1 \times 10^{-6}$	2.69	0.43
4.0-8.0	Sandy Gravel	$5 \times 10^{-3}$	2.65	0.50
8.0-10.0	Sand	$1 \times 10^{-4}$	2.68	0.55
10.0-12.0	Sandy Gravel	$5 \times 10^{-3}$	2.65	0.50
12.0-14.0	Silty Clay	$5 \times 10^{-8}$	2.75	1.78
14.0-15.0	Gravelly Silt	$5 \times 10^{-6}$	2.69	0.75
15.0-18.0	Gravelly Sand	$5 \times 10^{-4}$	2.66	0.62
18.0-20.0	Silty Clay	$5 \times 10^{-8}$	2.75	1.78
20.0-28.0	Clayey Silt	$1 \times 10^{-7}$	2.70	0.90
28.0-30.0	Clayey Sand	$1 \times 10^{-6}$	2.67	0.43

Table 13. Soil Properties of TSK-10

Depth(m)	Soil Type	Permeability(k) (m/sec)	Specific Gravity (Gs)	Void Ratio (e)
0.0-4.0	Clayey Silt	$1 \times 10^{-7}$	2.70	0.90
4.0-6.0	Gravel	$1 \times 10^{-2}$	2.65	0.27
6.0-8.0	Silty Sand	$1 \times 10^{-6}$	2.69	0.43
8.0-13.0	Silty Clay	$5 \times 10^{-8}$	2.75	1.78
13.0-14.0	Clayey Silt	$1 \times 10^{-7}$	2.70	0.90
14.0-15.0	Silty Clay	$5 \times 10^{-8}$	2.75	1.78
15.0-23.5	Clayey Silt	$1 \times 10^{-7}$	2.70	0.90
23.5-30.0	Silty Clay	$5 \times 10^{-8}$	2.75	1.78

Table 14. Soil Properties of TSK-11

Depth(m)	Soil Type	Permeability(k) (m/sec)	Specific Gravity (Gs)	Void Ratio (e)
0.0-4.0	Clayey Silt	$1 \times 10^{-7}$	2.70	0.90
4.0-6.0	Gravel	$1 \times 10^{-2}$	2.65	0.27
6.0-8.0	Silty Sand	$1 \times 10^{-6}$	2.69	0.43
8.0-13.0	Silty Clay	$5 \times 10^{-8}$	2.75	1.78
13.0-14.0	Clayey Silt	$1 \times 10^{-7}$	2.70	0.90
14.0-15.0	Silty Clay	$5 \times 10^{-8}$	2.75	1.78
15.0-23.5	Clayey Silt	$1 \times 10^{-7}$	2.70	0.90
23.5-30.0	Silty Clay	$5 \times 10^{-8}$	2.75	1.78

Table 15. Soil Properties of TSK-12

Depth(m)	Soil Type	Permeability(k) (m/sec)	Specific Gravity (Gs)	Void Ratio (e)
0.0-4.0	Clayey Silt	$1 \times 10^{-7}$	2.70	0.90
4.0-8.0	Sandy Gravel	$5 \times 10^{-3}$	2.65	0.50
8.0-10.0	Silty Clay	$5 \times 10^{-8}$	2.75	1.78
10.0-14.0	Sandy Clay	$1 \times 10^{-6}$	2.72	0.47
14.0-18.0	Clay	$1 \times 10^{-8}$	2.80	1.85
18.0-20.0	Silty Clay	$5 \times 10^{-8}$	2.75	1.78
20.0-22.0	Gravelly Clay	$5 \times 10^{-7}$	2.71	0.80
22.0-30.0	Clay	$1 \times 10^{-8}$	2.80	1.85

Table 16. Soil Properties of TSK-13

Depth(m)	Soil Type	Permeability(k) (m/sec)	Specific Gravity (Gs)	Void Ratio (e)
0.0-2.0	Clayey Silt	$1 \times 10^{-7}$	2.70	0.90
2.0-4.0	Sand	$1 \times 10^{-4}$	2.68	0.55
4.0-6.0	Gravel	$1 \times 10^{-2}$	2.65	0.27
6.0-14.0	Sand	$1 \times 10^{-4}$	2.68	0.55
14.0-18.0	Clayey Silt	$1 \times 10^{-7}$	2.70	0.90
18.0-20.0	Silt	$5 \times 10^{-7}$	2.70	1.10
20.0-24.0	Sand	$1 \times 10^{-4}$	2.68	0.55
24.0-30.0	Silty Clay	$5 \times 10^{-8}$	2.75	0.90

### 3.1. Safety Factors

Soil erosion causes by the underseepage may occur due to several mechanism. Firstly, the seepage exits the soil (exit gradient) is larger than the gradient required to cause erosion of the soil at the location (critical gradient). The soil particles will be eroded from the exit location. This mechanism is commonly named as piping. A second mechanism may be observed when high-hydraulic conductivity soils on the landside of the levee are overlain by a soil layer having lower hydraulic conductivity (Rice et al., 2012). Assessment of exit hydraulic gradients at the toe of levees in water drawdown conditions (López et al., 2015). Due to the lower hydraulic conductivity, water pressure is created at the base of the top layer. If the water pressure grows great enough, it may lift the top layer upward. This is generally called as heave. Then, the top layer may crack and sand boil formation can occur. In the first failure mechanism case, the safety factor against the erosion piping is expressed as follows.

$$F_{bep} = \frac{i_c}{i_e} > 3 - 4 \quad (10)$$

$F_{bep}$  = factor of safety against to erosion piping

$i_e$  = exit gradient calculated at the ground surface in the finite-element analysis

$i_c$  = critical gradient of the eroding soil

The exit gradient is calculated using hydraulic head data from the top two to three rows of elements below the ground surface (Rice et al., 2012). In the second failure mechanism case, the safety factor against heave can be expressed as follows;

$$F_{heave} = \frac{H \cdot \gamma_{sat}}{h_m \cdot \gamma_w} > 3.0 \quad (11)$$

$$i_{max} = \frac{h_m}{H} \quad (12)$$

H = thickness of overlying top layer(m)

$\gamma_{sat}$  = saturated unit weight of overlying top layer(kN/m<sup>2</sup>)

$h_m$  = average hydraulic head at the point(m)

$\gamma_w$  = water unit wight(kN/m<sup>2</sup>)

$i_{max}$  = maximum exit gradient

## 4. Numerical Modelling

One of the Plaxis products is the PlaxFlow. It is a finite element software for groundwater flow analysis in geotechnical engineering. PlaxFlow enables many features for the analysis of transient groundwater flow problems with several conditions in time. Also, the time-dependent conditions are only used for transient analysis. Irregular variations in water levels are modelled using harmonic, linear or user-defined time distributions to enable time-dependent water level. Time -Water level (Figure 5) data are used for the transient seepage analysis by water level option in time – dependent selection. It solves groundwater flow as transient flow and steady state flow. It can consider unsaturated behavior and time-dependent boundary conditions, deformation and/or stress analysis and stability. It involves different models for saturated/unsaturated groundwater flow, using ‘Van Genuchten’ relations between pore pressures, saturation and permeability. Van Genuchten (1980) is a well known model that simulates unsaturated soil behavior. The basis of common soil classification systems (Hypres, USDA, Staring) can be selected for various types of soil and also, different types of soil are created using user-defined models relationships between groundwater head, permeability, and saturation. The other important parameter is the time-dependent conditions. It can be created by linear or harmonic function or by means of an input table (Spink, 1996). Output features are distributions of the groundwater head pore pressure, degree of saturation and Darcy flux. Plain strain model is selected to study 2D in all of the transient seepage analyses. Choose the fine option in element distribution in PlaxFlow menu and generate the mesh. Saturated and unsaturated soil behavior is presented in three different options such as standard, advanced, and expert. Expert option is used to define both saturated and unsaturated properties manually (Figure 6). Saturated and unsaturated properties of soils are defined according to groundwater level so user-defined was choosen. This option includes permeabilities, void ratio,  $c_{sat}(1e-4)$  and  $\psi_{unsat}(1e+4)$  (Brinkgreve et al, 2006). Unsaturated option in user-defined is selected for soil properties of levee material.

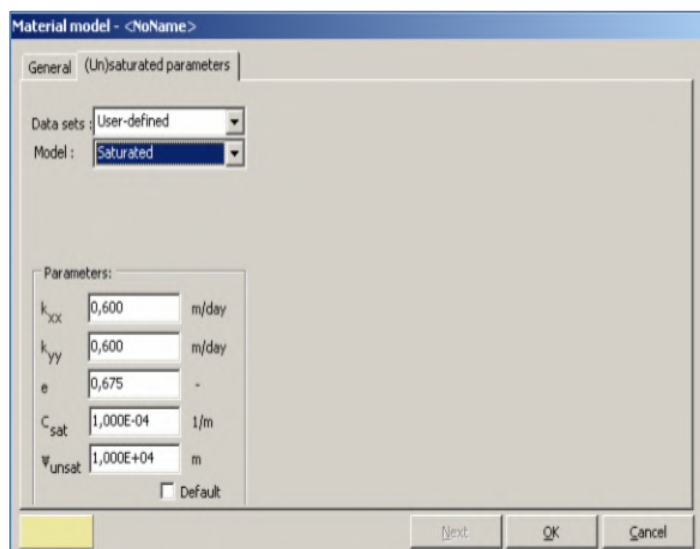


Figure 6. User-Defined Option

## 5. Analysis

Location of Filyos levee at 44.24 m on left shore is presented in Figure 7. Filyos levee includes gravelly sand soil type. There is a clayey silt layer under the levee and this layer is 6 m thick. It is seen that flow values are high at the critical region (red area) (Figure 8) in case  $h_{max}$  under the flow line according to PlaxFlow. There is a risk that is observed piping at these area.

### 5.1. Analysis of clayey silt below the levee

Figure 9 shows that location of points near the ground surface for finding extreme velocity and figure 10 presents that results of flow velocity at K, L, M, N, O, P, Q and R. One of the most important point is M points. M point is levee toe and K point is located upstream face region. L point is under the levee. According to Figure 10, max values of flow are  $K=7.6 \times 10^{-8}$  m/s at time=38.9 hours;  $L=4.6 \times 10^{-8}$  m/s at time=30.6 hours;  $M=1.6 \times 10^{-8}$  m/s at time=66.7 hours; N, O, P, Q and R=  $5.4 \times 10^{-10}$  m/s at time=152.8 hours. Piping formations are simply compute as;

$$i_c = \frac{G_s - 1}{1 + e} = \frac{2.7 - 1}{1 + 0.9} = 0.89$$

v=flow velocity (m/sec)

k=permeabilty (m/sec)

i=hydraulic gradient

$i_c$  =critical hydraulic gradient

$G_s$  =specific gravity; 2.70 for clayey silt

e=void ratio; 0.90 for clayey silt

Critical hydraulic gradients is 0.89 for clayey silt. According to maximum flow velocity, piping is investigated at these points. Table 17 shows that piping is not observed at any points due to  $i_{exit} < i_c$ . In order for the sand boiling to occur, the piping must take place. As can be seen in Table 18, critical hydraulic gradient is 0.89 for clayey silt and it did not reach the critical hydraulic gradient for the formation of boiling.

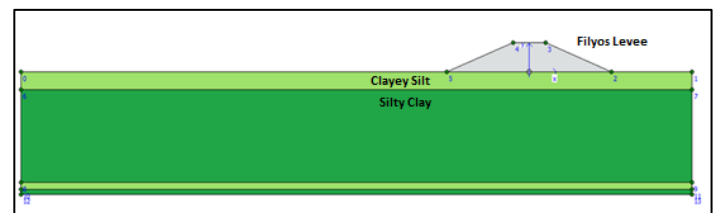


Figure 7. Filyos Levee at 44.24 m on left shore of Filyos River

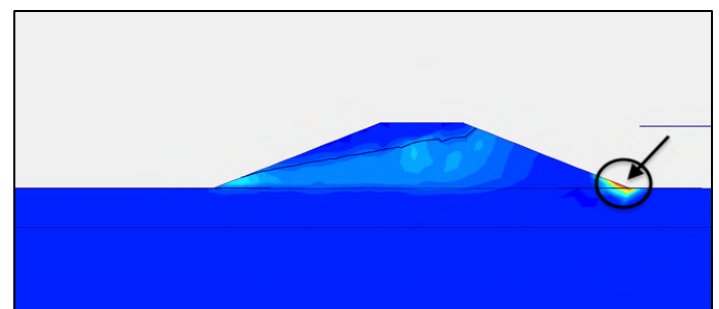


Figure 8. Flow field at 44.24 m on left shore of Filyos River during  $h_{max}$

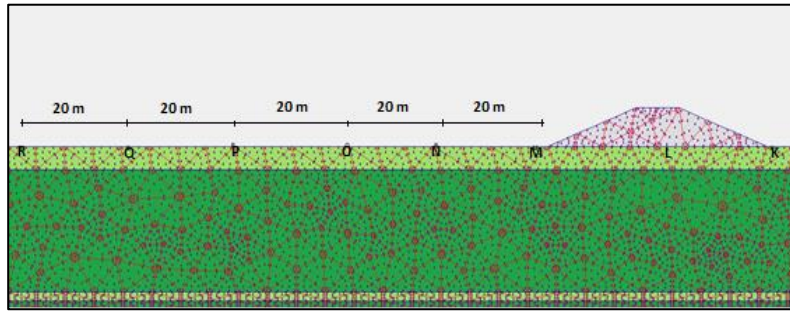


Figure 9. Location of points near the ground surface for finding extreme velocity

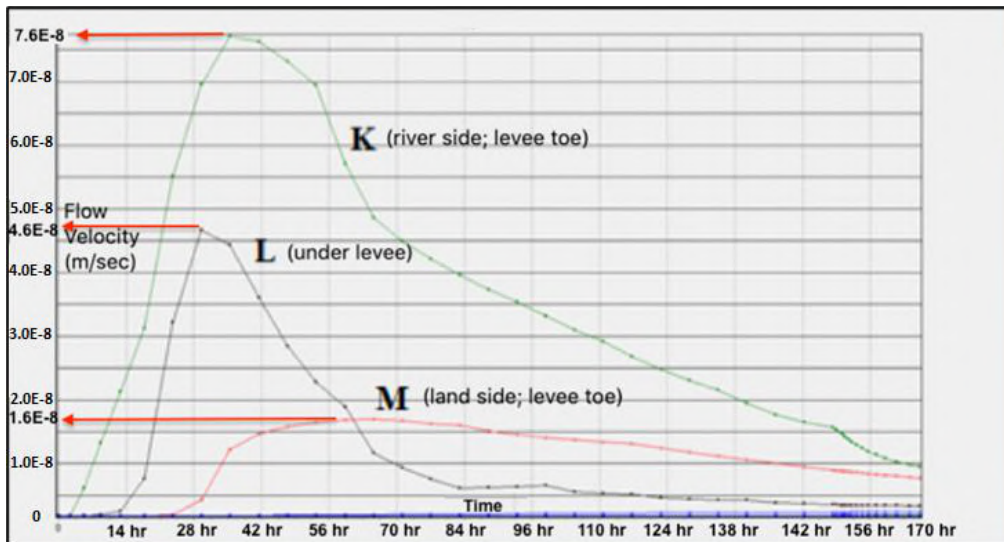


Figure 10. Extreme velocity graph relation time to seepage velocity

Table 17. Piping Status of location of points near the ground surface

Symbol	Max Seepage Velocity (m/s)	Permeability (m/s) (k)	Exit Gradient (i)	Piping
K	$7.6 \times 10^{-8}$	$1 \times 10^{-7}$	0.76	Not
L	$4.6 \times 10^{-8}$	$1 \times 10^{-7}$	0.46	Not
M	$1.6 \times 10^{-8}$	$1 \times 10^{-7}$	0.16	Not
N	$5.4 \times 10^{-10}$	$1 \times 10^{-7}$	0	Not
O	$5.4 \times 10^{-10}$	$1 \times 10^{-7}$	0	Not
P	$5.4 \times 10^{-10}$	$1 \times 10^{-7}$	0	Not
Q	$5.4 \times 10^{-10}$	$1 \times 10^{-7}$	0	Not
R	$5.4 \times 10^{-10}$	$1 \times 10^{-7}$	0	Not

Table 18. Sand Boil Status of location of points near the ground surface

Symbol	Max Seepage Velocity (m/s)	Permeability (m/s) (k)	Exit Gradient (i)	Sand Boil
M	$1.6 \times 10^{-8}$	$1 \times 10^{-7}$	0.16	Not
N	$5.4 \times 10^{-10}$	$1 \times 10^{-7}$	0	Not
O	$5.4 \times 10^{-10}$	$1 \times 10^{-7}$	0	Not
P	$5.4 \times 10^{-10}$	$1 \times 10^{-7}$	0	Not
Q	$5.4 \times 10^{-10}$	$1 \times 10^{-7}$	0	Not
R	$5.4 \times 10^{-10}$	$1 \times 10^{-7}$	0	Not

**5.2. Analysis above the levee for gravelly sand soil type**

Piping can only be observed at K, L and M points because these points are under the phreatic line. K, L, M points on the ground surface or levee are different from other analyses. K, L and M points are investigated in terms of piping formation and Figure 11 shows K, L and M points on downstream face of Filyos levee. According to Figure 12, maximum values of flow are K =  $1.8 \times 10^{-4}$  m/s at time=48.6 hours; L=  $2 \times 10^{-4}$  m/s at time=48.6 hours; M=  $8.7 \times 10^{-5}$  m/s at time=55.6 hours. Piping formations are simply compate as;

$$i_c = \frac{G_s - 1}{1 + e} = \frac{2.66 - 1}{1 + 0.62} = 1.02$$

where;

v=flow velocity (m/sec)

k=permeabilty (m/sec)

i=hydraulic gradient

$i_c$ =critical hydraulic gradient

$G_s$ =specific gravity; 2.66 for gravelly sand

e=void ratio; 0.62 for gravelly sand

Table 19 shows that piping is not observed at any points due to  $i_{exit} < i_c$ .

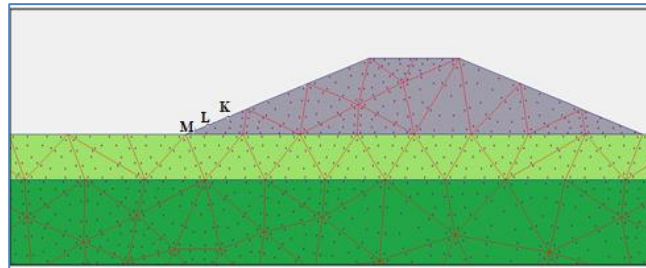


Figure 11. Location of points above the levee for finding extreme velocity

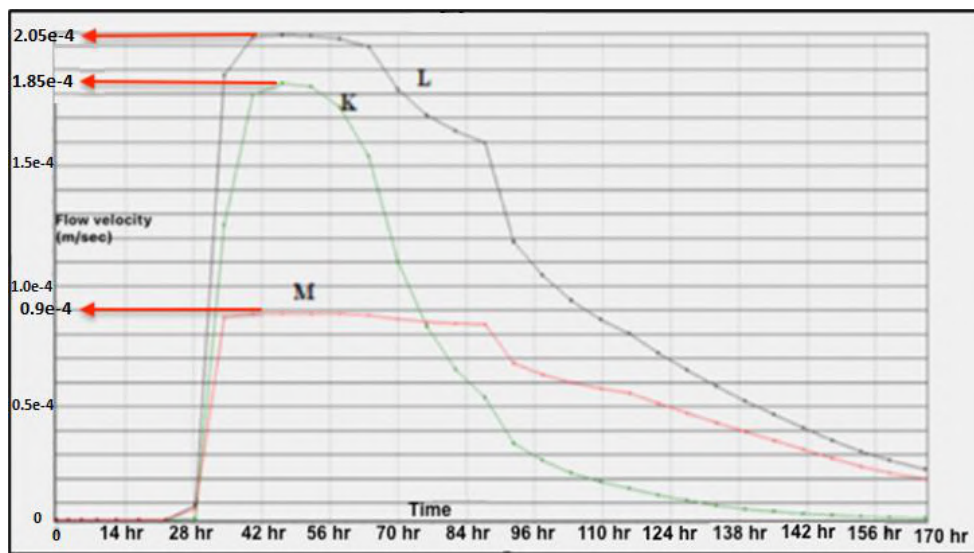


Figure 12. Extreme velocity graph relation time above the levee

Table 19. Piping Status of location of points above the levee

Symbol	Max Seepage Velocity (m/s)	Permeability (m/s) (k)	Exit Gradient (i)	Piping
K	$1.85 \times 10^{-4}$	$5 \times 10^{-4}$	0.37	Not
L	$2.05 \times 10^{-4}$	$5 \times 10^{-4}$	0.41	Not
M	$0.9 \times 10^{-4}$	$5 \times 10^{-4}$	0.18	Not

### 5.3 Safety factor against heave analysis for the top layer

Heaving potential is only observed at the ground surface hence a point is investigated at 1 m below the top layer, as seen in Figure 13. Heave is not observed due to the fact that  $F_{heave}$  is computed as being higher than 3.0.

## 6. Conclusions and Recommendations

The study is part of the research with the aim to reveal a methodology to simulate transient flow of levee during a flood. There are available inputs of hydrological and soil properties data for the transient analysis using PlaxFlow V.9. Filyos levees were designed as the steady state case but this study investigated transient effects of seepage flow on Filyos levees and under levees associated sand boil, piping and heaving formation (Ozkan, 2003). Table 20 shows that different drilling points are

investigated according to heave and piping potential and conclusions are at below.

Following conclusions are drawn from this study:

1. Maximum exit gradient doesn't exceed critical hydraulic gradient, so sand boil formations are not observed at levee toe (Point M).
2. Piping formations are not observed under levee.
3. The maximum exit gradient are respectively 0.78 and 1.0 through levee and filling (silty sand layer), so piping formations are not observed.
4. Since the safety factor is heigher than 3-4, the heaving potential is not observed at the ground surface.

Overall, silty and sandy soils with (%5-%12) finer material have piping potential at K, L points under the levee. If the top layer is thin, it increases the risk of piping. The design of levee can be made for the steady state flow and it can also be valid for the transient flow. In addition, This study can be repeated frequently with up-to-date data. In future studies, current data can be compared to these data.

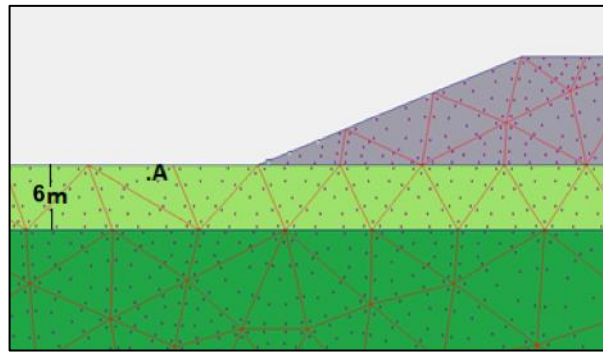


Figure 13. Analysis against to heave at A point 1 m below the top layer

Table 20. Conclusions of transient seepage analyses for different drillings

Drilling No	Soil Type on Top Layer	Max Exit Gradient			Critical Exit Gradient	Heave Analysis on Top Layer
		K	L	M		
TSK-2	Silty Clay	1.90	0.85	0.45	0.63	$F_{max}$ is higher than 3.0 .
TSK-3	Silty Clay	0	0	0	0.63	Since $i_{max}=0$ , heaving is not likely to occur.
TSK-4	Sand	0.02	0	0	1.1	$F_{max}$ is higher than 3.0 .
TSK-5	Sandy Silt	0.95	0.73	0.27	1.1	$F_{max}$ is higher than 3.0 .
TSK-6	Silty Sand	0.36	0.66	0.09	1.2	$F_{max}$ is higher than 3.0 .
TSK-9	Clayey Silt	2.1	2.7	0.02	0.89	$F_{max}$ is higher than 3.0 .
TSK-10	Clayey Silt	0	0	0	0.89	Since $i_{max}=0$ , heaving is not likely to occur.
TSK-11	Clayey Silt	0	0	0	0.89	Since $i_{max}=0$ , heaving is not likely to occur.
TSK-12	Clayey Silt	2.40	2.40	0.4	0.89	$F_{max}$ is higher than 3.0 .
TSK-13	Clayey Silt	3.26	3.21	0.06	0.89	$F_{max}$ is higher than 3.0 .

## References

- Akdeğirmen, Ö., et al. (2008). Hidroloji Değerlendirme Raporu, Antalya.
- Atış, E. & Çelikoğlu, Ş. (2019). “Sosyo-Ekonomik ve Çevresel Yönleriyle Filyos Vadi Projesi”, *International Social Sciences Studies Journal*, 5(29): 49-68.
- Brinkgreve R.B.J., et al, (2006). PlaxFlow-Version 1.4, Delft University of Technology & Plaxis by, The Netherlands.
- Çelik, H.E. (2012). Sel kontrolünde Hidroloji, Istanbul.
- Gulbahar N.A. (2016). Comparison Study of Some Flood Estimation Methods in terms of Design of Water Structures, *International Journal Of Engineering Technologies*.
- Hosni, A., et al. (2015). Geotechnical Properties of Waste Soil from Closed Construction Dumping Area in Serdang, Selangor, Malaysia.
- <https://amu.ac.in/emp/studym/99992537.pdf>
- Jie, H. (2018). Review of soil mechanics, The University of Kansas.
- Lopez, N.P., et al. (2010). Internal Erosion Due to Water Flow Through Earth Dams and Earth Structures, Institute of Engineering, National University of Mexico.
- López-Acosta N.P., et al. (2015). Assessment of exit hydraulic gradients at the toe of levees in water drawdown conditions, London Taylor & Francis, DOI: 10.1201/b17703-21.
- Murthy, V.N.S. (2018). Geotechnical Engineering, New York, USA.
- Ozkan, S. (2003). Analytical study on flood induced seepage under river levees, Submitted to Graduate Faculty of the Louisiana State University and Agricultural and Mechanical College in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy Thesis, USA.
- Rice, J., et al. (2012). Reliability-Based Underseepage Analysis in Levees Using a Response Surface–MonteCarlo Simulation Method, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*.
- Spink T. (1996). The Geotechnical And Geoenvironmental Software Directory (GGSD) Catalogues.
- Terzaghi K., et al. (1996). *Soil Mechanics in Engineering Practice*, 3rd Edition, John Wiley&Sons, Inc, New York, 1996, pp.549.
- Tracy, F., et al. (2016). Transient Seepage Analyses in Levee Engineering Practice Engineer Researchand Development, U.S. Army Corps of Engineers Washington.





# COVID-19'un Halk Sağlığı Açısından Yarattığı Rahatsızlıkların Çok Boyutlu Faktör Kümelerinin Tahmini

Adnan Mazmanoğlu<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> Toros Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mersin, Türkiye (ORCID: 0000-0002-8756-8429), adnan.mazmanoglu@toros.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 2 Mart 2021 ve Kabul Tarihi 20 Eylül 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.889609)

**ATIF/REFERENCE:** Mazmanoğlu, A. (2021). COVID-19'un Halk Sağlığı Açısından Yarattığı Rahatsızlıkların Çok Boyutlu Faktör Kümelerinin Tahmini. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (27), 508-517.

## Öz

Bu çalışma için, Türkiye'de Mart 2020 tarihinden başlayan pandemi sürecinde Web tabanlı rastgele (random) örneklem yöntemi kullanılarak yapılmış kesitsel bir anket çalışması yapılmıştır. İlk bakışta Anket çalışması dört ana unsur (kategori) biçiminde olduğu düşünülebilir: (1) Katılımcıların demografik özellikleri, (2) Salgının risk ve tehlike algısı, (3) Salgından bireysel, toplumsal korunma ve aşıya yaklaşım, (4) Salgının fizyolojik ve psikolojik etkisinin incelenmesi şeklinde olduğu söylenebilir. Basitçe verilerden istatistiksel modelleme analizi yapmadan önce COVID-19 Pandemisinin toplumda *çok yönlü ve karmaşık bir baskı altında kalma psikolojisinin hâkim olduğunu kolayca gözleyebildik. Böyle bir kaniya ve/veya düşmemizi güçlendirecek bilgiye ulaşmak için "çok değişkenli bir istatistiksel model olan faktör analizi yöntemleriyle"* çalışmayı uygun bulduk. Pandemi nedeniyle yaşanabilecek ekonomik sıkıntılar ve iş bulma kaygısı gerek COVID-19'a yakalanma gerekse interaktif eğitim sistemine uyum kaygılarının önüne geçmiş olup toplumda psikolojik ve fizyolojik rahatsızlıkların ya oluşmasına ya da mevcut rahatsızlıkların ortaya çıkmasına temel oluşturmuş olduğu araştırılmış olsa da bir sosyolojik rahatsızlıklar kümesel yakın korelasyonlu faktörlerin ortaya çıkmasıyla psikoloğlara önemli bir etki yaratacağı kesindir (yüksek bir olasılık eşliğiyle). İzolasyon sürecinde halk sağlığı üstüne etkisinin belirlenmesine yönelik kesitsel tipte bir anket çalışması yapıldı. Anket, katılımcıların WhatsApp ve Twitter hesaplarına web sitesinden yayınlandı. Anket, katılımın gönüllü niteliği, anonimlik, gizlilik beyanları ve anket soruları ile ilgili kısa bir giriş içermekteydi. Katılımcılar, gönüllü olarak katılma isteklerini teyit etmek amacıyla "*Evet veya Hayır*" seçeneğine göre anketi doldurmaya yönlendirildi. Çalışma, 49 ilde (toplam 81 il olduğu düşünüldüğünde yaklaşık %60'lık bir katılım) elektronik ortamda rastgele seçilmiş 931 katılımcının oluşturduğu örneklemle gerçekleştirildi. Örneklemin yaş ortalaması 41 ve ranjı 11-86 aralığındadır. Verilen 4 sınıftan (kategoriden) oluşan anketin sorularından F. A. 'i için 68 değişken ataması yapılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Halk Sağlığı, Koronavirüs, Pandemi, Asal Bileşenler Analizi, Faktör Analizi

## Estimation of Factor Clusters from Multidimensional Modeling of COVID-19 Diseases in Terms of Public Health

### Abstract

For this study, the pandemic period starting from March 2020, Turkey Web-based random (random) sampling method is carried out using a cross-sectional survey was conducted. At first glance, the survey can be thought to be in the form of four main elements (categories): (1) The demographic characteristics of the participants, (2) The risk and danger perception of the epidemic, (3) Individual, social protection from the epidemic and the approach to vaccination, (4) The physiological and psychological impact of the epidemic. It can be said to be examined. We could easily observe that the COVID-19 Pandemic is dominated by a multifaceted and complex psychology of oppression in the society, simply before performing statistical modeling analysis from the data. We found it appropriate to work with "factor analysis methods, which is a multivariate statistical model" in order to reach such an opinion and / or information that will strengthen our falling. Although it has been investigated that the economic difficulties and the anxiety of finding a job due to the pandemic have prevented both the concerns of catching COVID-19 and the adaptation to the interactive education system and it has been investigated that they have formed the basis for the occurrence of psychological and physiological disorders in the society or the emergence of existing diseases, sociological disorders are closely correlated. The emergence of factors is certain to have a significant impact on psychologists (with a high probability threshold). A cross-sectional survey study was conducted to determine the effect on public health during the isolation process. The survey was published on the website of the participants' WhatsApp and Twitter accounts. The survey contained a brief introduction to the voluntary nature of the participation, anonymity, privacy statements, and survey

\*Sorumlu Yazar: adnan.mazmanoglu@toros.edu.tr

questions. Participants were prompted to fill out the questionnaire according to the "Yes or No" option to confirm their willingness to participate voluntarily. The study was carried out with a sample of 931 randomly selected participants in 49 provinces (approximately 60% participation considering that there are 81 provinces in total). The average age of the sample is 41 and the range is between 11 and 86. From the questions of the questionnaire consisting of 4 classes (categories) given, 68 variables were assigned for F. A

**Keywords:** Publichealth, Coronavirus, Pandemic, Principal Component Analysis, Factor Analysis.

## 1. Giriş

COVID-19 salgın süreci “çok değişkenli ~ çok boyutlu” etkilerin yaşandığı bir süreç olmakta. Bu “çok değişkenli ~ çok boyutlu” bir rastlantısal sürecin anlamlı olabilmesi için çok boyutlu çözüm teknikleriyle bir istatistiksel model kurmak zorundayız. Zira “belirsizliğin” olduğu araştırmalarda oluşturulan verilerin çözümlemesi ya da “çok boyutlu” çözümleme yöntemlerinin bir bölümü yenilenir, yenileri de sürekli ortaya çıkarılırken, bunları sınıflamak oldukça güçtür. Bunun da değişkenlerle aralarındaki ilişkinin yarattığı sorunların niteliğine bağlı olduğunu belirtebiliriz. Bu arada türlü yöntemlere örnek olarak “faktör”, “regresyon”, “korelasyon”, “varyans”, “path” analizlerini, “kümeler arası çözümleme” ve “discriminant (ayırıcı)” çözümlemeyi, aralarındaki ilişkilerle gösteriyorlar. Biz de bilgisayarların very işleme hızının gelişmesi, değişik türdeki (nitel-nicel) alanlarda anketlerin düzenlenmesi olgularına dayanarak istatistiğin önemli bir bölümünü oluşturan yukarıda saydığımız çözümleme yöntemleri; “başlıca bileşenler çözümlemesi” ve “kümeler arası çözümleme” yöntemlerinin temelini oluşturur (Spearman-Pearson). Bilhassa bizim yaptığımız anketin konusunu da içeren “Salgın (pandemi)” dan doğan olumsuz sağlık bozucu, sosyolojik, psikolojik, tıp, biyoloji, çevre kirliliği vb. hemen hemen tüm bilim dallarını ilişkilendiren, çok değişkenli istatistik tekniklerinden en popüler olanlardan “Faktör analizi (factor analysis)” çok boyutlu ölçekleme için uygun bir yöntem olarak sayılabilir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Faktör Analizi

Faktör analizin değişkenleri bir gözlenen olaydır. Buradaki değişken, belirli bir sonucu doğuran veya etkileyen her olay bir değişkendir. Etkileyici elemanlar bölünüp parçalanarak bazıları birleştirilerek olaylar grubu ortaya çıkarılır. Sözü edilen gruplar Faktör analizinde değişkenler kümesini oluşturur. Tahminleme örnek vasıtasıyla yapılır. Yapı şudur: F.A.’ inde değişkenler incelenecek ana kütleyle bağlı olmalı. Yani bir değişken diğerinden etkilenmemeli, bir değişkenin sonucu başka bir değişkeni oluşturmamalı. İlk bakışta her değişkenin eşit ağırlığı olmalıdır. Bir olay veya sonuca etki eden elemanların içinde önemli olanların (en etkili olanın) bulunması, önem derecesinin saptanması için bu analiz tekniğinden yararlanarak değişkenleri bazı döndürme teknikleriyle güçlendirerek ve sayı ile ifade etmek gerekir. Özetle amaç: F.A. kullanılarak değişkenler arasındaki karşılıklı bağlılığın kökünü ortaya koymaktır. Başka bir deyişle, en az bilgi kaybıyla, büyük hacimdeki verilerden özetlenmiş ve yeni bir yapı içerisinde (Hotelling, 1960) verileri elde etmektir. Bu yeni biçim (form), çok sayıdaki değişkenin verilerine göre şekillenmesinden oluşur. Sonuç olarak F.A. ‘inin amacı verilerin yapısını tanımlamak, verileri özetlemek, sayılarını yönetebilir ve üstünde çalışabilir, uygun bir sayıya düşürmektir. Bu özellik bilhassa çok değişkenli veri grupları için çok önemli ve değişkenlerin “nitel özellikli” olmasını da çözmüş olmaktadır.

Çalışmada IBM SPSS Statistics Version.24 yazılımı ile variables (değişkenler) orijinal olarak aşağıda Var kısaltması ile tanımlanmıştır

```
GET
FILE='C:\Users\user\Documents\Untitled1-ADNAN-
MÜZEYYEN.sav-VERİLER.sav'.
DATASET NAME DataSet1 WINDOW=FRONT.FACTOR
/VARIABLES VAR1 VAR2 VAR3 VAR4 VAR5 VAR6 VAR7
VAR8 VAR9 VAR10 VAR11 VAR12 VAR13 VAR14 VAR15
VAR16 VAR17 VAR18 VAR19 VAR20 VAR21 VAR22 VAR23
VAR24 VAR25 VAR26 VAR27 VAR28 VAR29 VAR30 VAR31
VAR32 VAR33 VAR34 VAR35 VAR37 VAR36 VAR38 VAR39
VAR40 VAR41 VAR42 VAR43 VAR44 VAR45 VAR46 VAR47
VAR48 VAR49 VAR50 VAR51 VAR52 VAR53 VAR54 VAR55
VAR56 VAR57 VAR58 VAR59 VAR60 VAR61 VAR62 VAR63
VAR64 VAR65 VAR66 VAR67 VAR68
/MISSING LISTWISE
/ANALYSIS VAR1 VAR2 VAR3 VAR4 VAR5 VAR6 VAR7
VAR8 VAR9 VAR10 VAR11 VAR12 VAR13 VAR14 VAR15
VAR16 VAR17 VAR18 VAR19 VAR20 VAR21 VAR22 VAR23
VAR24 VAR25 VAR26 VAR27 VAR28 VAR29 VAR30 VAR31
VAR32 VAR33 VAR34 VAR35 VAR37 VAR36 VAR38 VAR39
VAR40 VAR41 VAR42 VAR43 VAR44 VAR45 VAR46 VAR47
VAR48 VAR49 VAR50 VAR51 VAR52 VAR53 VAR54 VAR55
VAR56 VAR57 VAR58 VAR59 VAR60 VAR61 VAR62 VAR63
VAR64 VAR65 VAR66 VAR67 VAR68
/PRINT INITIAL CORRELATION SIG KMO EXTRACTION
ROTATION
/FORMAT SORT
/PLOT EIGEN
/CRITERIA MINEIGEN(1) ITERATE(25)
/EXTRACTION PC
/CRITERIA ITERATE(25)
/ROTATION VARIMAX
/METHOD=CORRELATION.
FACTOR ANALYSIS -----
```

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

### 3.1. Veriyi Sınama

Değişkenlere verilen yanıtlara uygun olarak bellekte (byte olarak) yer ayrılmıştır.

KMO and Bartlett's Test		
Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy.		0,609
Bartlett's Test of Sphericity	Approx. Chi-Square	18699,474
	df	2278
	Sig.	0,000

KMO testi %60,9 bulunmuştur. Bunun anlamı, istatistiksel tahmin ölçeği maddelerine faktör analizi yapılıp

yapılamayacağını kontrol etmek amacıyla KMO değerinden ve Bartlett testinden yararlanılmıştır.  $0,609 > 0,50$  olduğundan veri grubumuzun faktör analizi için uygun olduğunu söyleyebiliriz. Yani gözlenen (gerçek) korelasyon katsayılarının büyüklüğü ile

kısmi korelasyon katsayılarının büyüklüğü karşılaştırılır. Bu testin değeri küçük çıkarsa, çift olarak değişkenler arasında ilişkinin diğer değişkenlerce açıklanmayacağını gösterir. Bu durumda da faktör analizine devam etmek doğru olmaz. Bizde KMO bir oran olup %60 in üstünde olması arzulanır. Bizde %60,9 ~ %61 dir. KMO aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır.

$$KMO = \frac{\sum_{i \neq j} \sum_{i \neq j} r_{ij}^2}{\sum_{i \neq j} \sum_{i \neq j} r_{ij}^2 + \sum_{i \neq j} \sum_{i \neq j} a_{ij}^2} \quad (1)$$

Burada  $r_{ij}$ ,  $i$  ile  $j$  no'lu değişkenler arasındaki basit korelasyon katsayısını gösterir. Paydadaki  $a_{ij}$  ise yine  $i$  ve  $j$  no'lu değişkenler arasındaki kısmi korelasyon katsayısını göstermektedir. Değişkenler arasında istenen derecede korelasyon vardır. Bartlett testi anlamlıdır.  $H_0$  reddedilir, örnek büyüklüğünün yeterli olduğu kabul edilmiştir. Ayrıca burada Faktör sayısının belirlenmesi, faktör modelinin kurulması ve asal bileşenler teorisine fazla değinmeyeceğiz. Ciddi ve derinlikli bir veri için hemen sonuçlara başvurup yorumları sizinle paylaşmak istiyoruz. Aşağıdaki Tablo 1'e bir göz atalım.

**Tablo 1. Özdeğer (Eigenvalues) istatistiğine bağlı faktör sayısı ve varyans yüzdeleri**

Component	Initial Eigenvalues			Extraction Sums of Squared Loadings			Rotation Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %
1	4,957	7,290	7,290	4,957	7,290	7,290	3,415	5,023	5,023
2	3,778	5,556	12,846	3,778	5,556	12,846	3,049	4,485	9,507
3	3,265	4,801	17,647	3,265	4,801	17,647	2,985	4,390	13,898
4	2,934	4,315	21,962	2,934	4,315	21,962	2,709	3,984	17,881
5	2,679	3,939	25,901	2,679	3,939	25,901	2,698	3,967	21,849
6	2,249	3,307	29,208	2,249	3,307	29,208	2,372		
7	1,775	2,611	31,819	1,775	2,611	31,819	1,928		
8	1,690	2,486	34,304	1,690	2,486	34,304	1,917		
9	1,599	2,352	36,656	1,599	2,352	36,656	1,871		
10	1,571	2,310	38,966	1,571	2,310	38,966	1,713		
11	1,464	2,153	41,118	1,464	2,153	41,118	1,672		
12	1,429	2,102	43,220	1,429	2,102	43,220	1,597		
13	1,309	1,925	45,145	1,309	1,925	45,145	1,426		
14	1,283	1,886	47,031	1,283	1,886	47,031	1,381		
15	1,225	1,802	48,833	1,225	1,802	48,833	1,360		
16	1,218	1,791	50,625	1,218	1,791	50,625	1,353		
17	1,177	1,731	52,356	1,177	1,731	52,356	1,314		
18	1,143	1,681	54,037	1,143	1,681	54,037	1,288		
19	1,104	1,624	55,661	1,104	1,624	55,661	1,283		
20	1,089	1,602	57,263	1,089	1,602	57,263	1,215		
21	1,057	1,555	58,818	1,057	1,555	58,818	1,181		
22	1,039	1,528	60,346	1,039	1,528	60,346	1,162		
23	1,006	1,479	61,825	1,006	1,479	61,825	1,150		
24	,973	1,431	63,256						
25	,963	1,417	64,673						
26	,956	1,406	66,078						
27	,908	1,335	67,414						
28	,897	1,319	68,733						
29	,892	1,311	70,044						

30	,857	1,260	71,304
31	,835	1,228	72,532
32	,808	1,189	73,720

Hesaplanan communality (yükleyici) faktörlerin 1 olması beklenir. Bu değer yukarıda ifade ettiğimiz gibi aynı zamanda çıktı tablosunda ortak faktör (common factor) tarafından açıklanan varyansın oransal payını (katkısını) gösterir. Ancak 1'den büyük özdeğeri olanlarla ilgilenmek gerekir. Toplam varyans 68 faktörle açıklanır ki değişken sayısı da zaten 68 dir. Birinci faktör toplam varyansı 4,957 özdeğeri ile açıklar. Yani toplam varyansın %7,290'unu oluşturur. İkinci faktör ise toplam varyansın 3,778 özdeğeri ile açıklar. 23. faktör 1,006 özdeğeri ile açıklar. Ve 23. faktör birikimli olarak toplam varyansın %61,825 ini oluşturur. Bu değişkenler 23 faktör altında asal bileşenler tarafından istatistik açısından yeterli bulunmuştur. Çünkü 23 ten sonraki değişkenlerin açıklanan gücü ancak %38,175 bulunmuştur.

İkinci elde ettiğimiz 2. tabloda 1. Faktör sütunu içinde en yüksek korelasyonlu değişkenler kümesi toplanmış olduğunu gördük. Şimdi bunlardan söz edelim

Rotated Component Matrix'e bakıldığında rotasyon işlemi sonucunda faktör 1 altında toplanan değişkenlerin daha yüksek korelasyonlarla toplandığını görmek açısından ilginç bir sonuç varsayılır. Şöyle ki VAR58 (yaşanabilecek ekonomik sıkıntılar) yine 1. sırada fakat Component Matrix'indeki korelasyon değeri 0,624 iken burada 0,806 (%80,6) dir. Bu kez VAR 55 (*salgın süreci sonunda iş bulmada karşılaşılabilecek zorluklar*) ikinci sırayı yine 0,801 gibi yüksek bir korelasyonla yerini almıştır. Component Matrix'te bu oran 0,603 idi ve üçüncü sıradaydı. Component Matrix'te beşinci sıradaki VAR56 (salgın sürecinde işini kaybetme kaygısı) değişkeni RotatedMatrix'te üçüncü sırada bulunuyor ve 0,776 gibi oldukça yüksek bir korelasyonla. Daha önceki Component Matrix'te ikinci sırada olan VAR57 burada dördüncü sıraya öteleniyor. Yoruma gelince "*Salgın süreci sonunda iş bulmada karşılaşılabilecek zorluklar*" öne geçiyor [VAR 55], COVID-19'a yakalanma korkusu daha alt sıraya inmektedir. Psikolojik olarak irdeleme yapıldığında verimizin gerçeklere ışık tutması açısından çok önemli tahminlere ulaştığı görülmektedir. Component Matrix'te dördüncü sıradaki VAR59 (Aile Bireylerine COVID-19 bulaştırma kaygısı) korelasyonu 0,529 iken Rotated Component Matrix'te beşinci sıraya öteleniyor fakat korelasyon 0,667 dir. Aile bireylerine COVID-19'u bulaştırma kaygısının

ötelenmesi tedavilerin başarılı geçtiği vaka sayılarının pandemi başlangıcında az olmasına bağlanabilir. Sonuçlara bakıldığında her iki faktör analizi yöntemiyle değişken grubu değişmemektedir. Fakat sırada korelasyonla ilişkili sıralama değişmektedir. Bu da verileri temsil eden değişkenlerle arasında güçlü bir bağlantı olduğunu göstermektedir.

Şimdi bu yöntemlerde 2. etkili faktör (Faktör 2) içindeki ilişkisi yüksek değişkenleri yorumlamaya çalışalım. Component Matrix'te (yükleyici faktör matrisinde) en yüksek korelasyon VAR6 (Sistemik bir hastalık var mı? sorusuna verilen yanıt~0,872) değişkenine verilen yanıtlar ise VAR8 (0,611) e oranla (korelasyonla) "yüksek tansiyon" olarak yanıtlanmıştır. Çok önemli bir sonuç daha önce 65 yaş üstü için varılan kısıtları destekler nitelikte bir önemli etken olarak karşımıza çıkmaktadır. Aynı analiz Rotated Component Matrix ile yapıldığında Faktör 2 de toplanan değişkenler çok önemli bir grup oluşturmuşlardır. Salgın sürecinde COVID-19 etkeni ile enfekte olma riski derecelerini değerlendiriniz başlığı altında verilen yanıtları içeren değişkenler içinde en yüksek korelasyonlu değişkenler VAR23 (şoför) (0,785), VAR22 (kurye) (0,763), VAR21 (kasiyer) (0,717), VAR24 (apartman görevlisi) (0,70) ve VAR20 (polis memuru) (0,655) dir. Mükemmele yakın, istatistiksel yönden güçlü ve anlam olarak pandemiye en iyi niteleyen grup olarak karşımıza çıkmaktadır.

NEW FILE.

DATASET NAME DataSet2 WINDOW=FRONT.

DATASET ACTIVATE DataSet1.

NEW FILE.

DATASET NAME DataSet3 WINDOW=FRONT.

DATASET ACTIVATE DataSet1.

NEW FILE.

Tablo 2. Faktör Grupları

	Rotated Component Matrix <sup>a</sup>													
	Component													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
VAR58	,808	-,123	,032	,063	-,014	-,005	-,046	-,027	,068	,084	-,022	,038	,085	,002
VAR55	,801	-,059	,043	,036	-,008	,042	,031	,038	-,035	,185	-,001	-,133	,065	-,062
VAR56	,776	,000	,050	-,010	-,054	,020	,041	,072	-,128	,042	,008	-,177	,028	,017
VAR57	,671	-,069	,055	,078	,029	-,015	-,049	-,089	,010	,102	,042	,121	,040	,024
VAR59	,667	-,048	-,009	,010	,038	-,053	-,032	-,101	,076	,151	,073	,285	,032	-,053
VAR23	-,014	,785	-,031	,004	,003	-,033	,009	-,014	,028	-,002	-,027	,014	,043	,021
VAR22	-,031	,763	-,007	-,052	,001	,020	,055	-,009	,063	-,059	-,010	-,060	-,049	-,011
VAR21	-,075	,720	-,059	-,040	,056	-,024	,023	,040	,012	,053	-,003	,045	-,074	,010
VAR24	-,043	,700	,052	,014	-,105	,005	-,006	-,075	-,028	-,014	-,002	,175	,103	,033
VAR20	-,077	,654	-,099	-,004	,038	-,001	-,024	,148	,045	,055	-,058	-,021	-,041	,018
VAR27	,035	-,092	,805	,010	,028	-,034	,027	-,088	,074	,050	-,033	,031	,025	-,141
VAR28	,016	,030	,760	-,027	-,031	,064	,028	-,016	-,006	,030	-,037	,010	,040	,116
VAR26	,012	,011	,749	,042	,059	-,044	,016	-,033	,109	-,061	,059	-,069	,020	-,026
VAR30	,098	-,056	,602	,013	-,089	-,081	-,075	,070	-,030	-,059	,083	-,311	-,037	,123
VAR25	,036	-,058	,601	,027	-,037	,002	-,102	,025	-,072	-,022	,107	,099	-,101	-,016
VAR29	-,024	-,093	,550	,000	-,033	-,024	-,011	-,057	-,017	,147	-,260	,110	,063	-,119
VAR60	-,030	-,039	,026	,771	-,020	,113	-,065	-,009	,047	,064	,004	,073	,161	,042
VAR61	,005	-,033	,029	,756	,102	,046	-,119	-,030	,042	,071	,085	,069	,039	,061
VAR67	-,108	,043	-,021	-,600	,027	-,013	,106	,095	,075	,023	,094	-,097	-,104	-,048
VAR64	,132	-,026	,002	,585	,065	-,069	-,084	-,035	-,132	,040	,016	-,045	-,120	,028
VAR66	,048	,019	-,001	,513	-,053	,004	-,078	,031	-,179	,006	,012	-,251	-,048	-,175
VAR63	,030	,003	-,009	,385	-,061	,078	,015	,087	-,152	,002	-,022	-,243	-,131	-,236
VAR7	-,038	,008	-,023	-,015	,700	,014	-,002	-,021	-,047	-,032	-,050	-,013	-,030	,058
VAR9	-,097	,001	,026	,087	,681	,046	,002	-,054	,008	,133	-,018	,022	-,029	,016
VAR8	,089	-,008	-,004	-,004	,594	,286	,059	-,029	-,059	-,088	-,069	-,106	,087	-,067

Verilerin uyumluluğunu gösteren KMO and Bartlett's Testi ise en az %50 olması gerekirken çok daha yüksek %81,2 olarak sonuçlanmıştır.

	Component	
	1	2
VAR58	<b>,824</b>	-,118
VAR55	<b>,806</b>	-,055
VAR56	<b>,763</b>	,001
VAR57	<b>,751</b>	-,067
VAR59	<b>,727</b>	-,035
VAR23	-,019	<b>,789</b>
VAR22	-,062	<b>,775</b>
VAR21	-,050	<b>,733</b>
VAR24	-,043	<b>,706</b>
VAR20	-,075	<b>,673</b>

Tablo 3. Döndürülmüş Komponent Matrisi

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
VAR58	,806	-,125	,030	,065	-,015	-,006	-,042	-,027	,067	,085	-,022
VAR55	,801	-,059	,043	,036	-,008	,042	,030	,038	-,035	,185	,000
VAR56	,776	,000	,050	-,012	-,054	,021	,039	,072	-,127	,042	,008
VAR57	,672	-,067	,057	,079	,030	-,015	-,053	-,088	,012	,101	,042
VAR59	,667	-,048	-,009	,013	,037	-,054	-,031	-,101	,075	,151	,073
VAR23	-,014	<b>,785</b>	-,030	,002	,002	-,032	,009	-,014	,028	-,001	-,028
VAR22	-,031	<b>,763</b>	-,006	-,053	,001	,020	,055	-,009	,064	-,059	-,010
VAR21	-,075	<b>,717</b>	-,062	-,035	,055	-,027	,028	,039	,010	,051	-,001
VAR24	-,043	<b>,700</b>	,054	,012	-,105	,007	-,007	-,075	-,028	-,013	-,004

VAR20	-,076	,655	-,098	-,004	,038	-,001	-,027	,148	,046	,055	-,059
VAR27	,036	-,091	,805	,010	,029	-,034	,025	-,088	,075	,049	-,033
VAR28	,016	,028	,759	-,024	-,031	,063	,032	-,016	-,007	,029	-,036
VAR26	,013	,012	,749	,041	,060	-,043	,014	-,033	,110	-,060	,059
VAR30	,098	-,056	,603	,011	-,089	-,080	-,077	,070	-,029	-,059	,084
VAR25	,036	-,056	,602	,023	-,037	,004	-,105	,025	-,071	-,020	,105
VAR29	-,023	-,094	,551	,002	-,032	-,024	-,009	-,057	-,015	,145	-,258
VAR60	-,030	-,039	,024	,774	-,021	,112	-,062	,010	,044	,062	,006
VAR61	,006	-,033	,027	,759	,101	,044	-,116	-,030	,038	,070	,086

**KMO and Bartlett's Test**

Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy.		<b>,790</b>
Bartlett's Test of Sphericity	Approx. Chi-Square	4545,638
	df	105
	Sig.	,000

**Communalities**

	Initial	Extraction
VAR23	1,000	,623
VAR22	1,000	,607
VAR21	1,000	,540
VAR24	1,000	,509
VAR20	1,000	,460
VAR27	1,000	,666
VAR28	1,000	,579
VAR26	1,000	,608
VAR30	1,000	,410
VAR25	1,000	,384
VAR58	1,000	,693
VAR55	1,000	,653
VAR56	1,000	,582
VAR57	1,000	,569
VAR59	1,000	,532

	1	2	3
<b>VAR58</b>	<b>,823</b>	-,117	,032
VAR55	,805	-,052	,044
VAR56	,762	,004	,043
VAR57	,749	-,066	,058
VAR59	,728	-,037	-,009
<b>VAR23</b>	-,019	<b>,788</b>	-,035
VAR22	-,064	,776	-,009
VAR21	-,046	,729	-,080
VAR24	-,048	,710	,048
VAR20	-,070	,666	-,104
<b>VAR27</b>	,064	-,086	<b>,809</b>
VAR26	-,003	,008	,779
VAR28	,021	,045	,759
VAR30	,055	-,070	,634
VAR25	,016	-,063	,616

Extraction Method: Principal

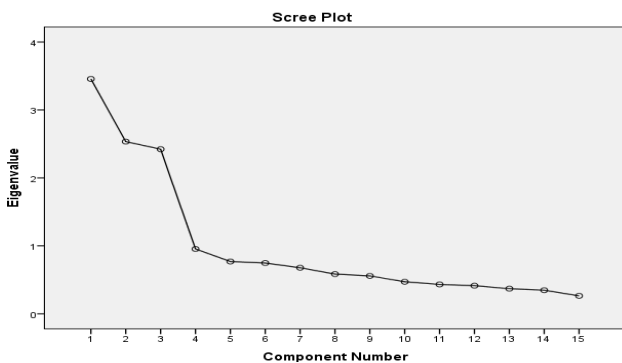
Component Analysis.

Rotation Method: Varimax with

Kaiser Normalization.

a. Rotation converged in 4

iterations.



Component

Tablo 4. Anket Sorularının Açıklaması

	Initial	Extraction
sıra no	1,000	,577
yaş	1,000	,563
cinsiyetiniz	1,000	,700
eğitim durumunuz	1,000	,591
mesleğiniz	1,000	,486
sistemik bir hastalığınız var mı?	1,000	,690
diyabet	1,000	,577
yüksek tansiyon	1,000	,588
kolesterol	1,000	,595
solunum yetersizliği	1,000	,697
kalp	1,000	,661
tiroid	1,000	,688
diğer	1,000	,682
bir hastalık yok	1,000	,801
yaşadığınız il	1,000	,598
KOVID-19 salgının ne kadar tehlikeli olduğunu düşünüyorsunuz?	1,000	,431
enfekte olma risk	1,000	,544
Öğretmen	1,000	,566
Sağlık çalışanı	1,000	,568
Polis	1,000	,518
Kasiyer (alışveriş merkezi, market çalışanı vb.)	1,000	,618
Kurye (yiyecek , kıyafet vb. taşıyan)	1,000	,623
Şoför	1,000	,642
Apartman görevlisi	1,000	,626
Alışveriş merkezinde bulunmak	1,000	,445
Toplu taşıma aracına binmek	1,000	,617
Sosyal etkinliklere katılmak (arkadaşla buluşma,sinema vb.)	1,000	,731
Şehirlerarası seyahat etmek	1,000	,680
Açık havada spor yapmak	1,000	,576
Sağlık kuruluşuna gitmek	1,000	,545
Evinizde 60 yaş üstü yakınınız var mı?	1,000	,571
Eldiven takmak	1,000	,514
Yüze maske takmak	1,000	,584
El hijyenine dikkat etmek	1,000	,577
Selamlaşma esnasında temastan kaçmak	1,000	,495
Toplu kullanıma açık tuvaletleri kullanmak	1,000	,529
Sıvı veya katı el sabunu	1,000	,597
Kolonya	1,000	,608
İlaç ihtiva eden sıvı el dezenfektanı	1,000	,574

Islak mendil	1,000	,541
Aşı	1,000	,608
kilo değişiminiz	1,000	,562
karbonhidrat-1	1,000	,840
vitamin-2	1,000	,843
hazır gıda-3	1,000	,611
daha sağlıklı beslen-4	1,000	,823
beslenme alışkanlığım değişmedi	1,000	,888
Televizyon seyretme	1,000	,664
Kitap okuma	1,000	,581
(Facebook, WhatsApp vb.)	1,000	,539
Hobi faaliyetleri (ahşap boyama, yapboz vb.)	1,000	,536
Spor aktiviteleri	1,000	,640
Eğitim sisteminde uygulanan interaktif eğitime uyum kaygısı	1,000	,786
Sınav tekniklerinde yaşanabilecek değişimlere duyulan kaygı	1,000	,834
Salgın süreci sonunda iş bulmada karşılanacak zorluklar	1,000	,749
Salgın sürecinde işini kaybetme kaygısı	1,000	,709
KOVID-19'a yakalanma korkusu	1,000	,704
Yaşanabilecek ekonomik sıkıntılar	1,000	,706
Aile bireylerine KOVID-19 bulaştırma kaygısı	1,000	,655
uyku bozukluğu	1,000	,686
Rüya içeriklerinin bozulması	1,000	,654
yalnız kalma korkusu	1,000	,357
kabızlık	1,000	,490
öfke	1,000	,489
sürekli el yıkama	1,000	,728
midede hazımsızlık	1,000	,505
Bir etkisi yok	1,000	,708
KOVID-19 salgını gelecek için yaptığımız planlarınızın gerçekleşmesini	1,000	,476



## 4. Sonuç

Bu değişken grupları FAKTÖR 1 olarak VAR58, 55, 56, 57, 59 değişkenlerinin sırasıyla “ekonomik sıkıntı”, “covid-19’a yakalanma korkusu”, “iş bulmadaki zorluklar”, “aile bireylerine covid-19 bulaştırma kaygısı” ve “işini kaybetme” olarak 68 değişkenden yüksek bir korelasyonla ortaya çıkartılması , ikinci önemli faktör olarak da FAKTÖR 2 (VAR23, 22, 21, 24, 20)olarak “en yüksek bulaş riski taşıyan meslek gruplarını” işaret etmesi ihmal edilmeyecek ve üzerinde dikkatle durulması gereken değişken gruplarını ortaya çıkarmıştır. Hatta Faktör 3 ile de mükemmel yakın bir kümeleme ile ortaya çıkan (VAR27, 28, 26, 30, 25) değişkenlerdeki ortak temanın “aktivite sıkıntısı çekme, aktivite yaşama zorluğunun” olması çalışmamızın çok boyutlu bir istatistiksel çalışma hedefini yakaladığını göstermektedir. Böylece 68 bağımsız değişken içinden 15 değişken yani %25’lik değişken grubunun salgında etkin rol aldığı gösterilmiş oldu.

Önemli bir çalışma daha yaptık. Üç faktör altındaki bu değişkenleri kendi aralarında bir rotasyona tabi, her faktörün kendi içinde en yüksek korelasyona sahip üç değişkeni ölçmek üzere tekrar asal bileşenli “Rotated Component Matrix<sup>a\*</sup>” tutarak etkinliklerin derecelerini ölçtük. Uygunluk testi KMO’nun %79 gibi çok yüksek olması yanında bilhassa grafikte de görüldüğü gibi 5. değişken ile 15. değişken arasındaki dağılımın tek başına bir küme oluştuğunu rahatça gözlemleyebiliyoruz. Bu değişkenler “enfekte olma riski taşıyan meslekler” ve “aktivite sıkıntısı çekme, aktivite zorluğu” değişken toplulukları yalnız COVID-19 için değil de ileride hangi tür salgın olursa olsun dikkat edilmesi gereken en önemli faktörler olarak görülmektedir. . Yani yalnız covid-19 değil yaşamla beraber oluşacak her türlü bulaş için çalışma sonuçlarının mutlaka referans alınmasını umuyoruz. VAR58 ile “yaşanabilecek ekonomik sıkıntılar”, “VAR23 ile “sürücüler-şoförler” ve VAR27 ile de “aktivite sıkıntısı çekme” yaklaşık %80 doğrulukla 68 değişken içinden en etkin değişkenler olarak karşımıza bir kez daha çıkmışlardır.

GET

FILE='C:\Users\user\Documents\Untitled1-ADNAN-MÜZEYYEN.sav-VERİLER.sav'.

DATASET NAME DataSet1 WINDOW=FRONT.

FACTOR

/VARIABLES VAR23 VAR22 VAR21 VAR24 VAR20 VAR27  
VAR28 VAR26 VAR30 VAR25 VAR58 VAR55 VAR56 VAR57  
VAR59

/MISSING MEANSUB

/ANALYSIS VAR23 VAR22 VAR21 VAR24 VAR20 VAR27  
VAR28 VAR26 VAR30 VAR25 VAR58 VAR55 VAR56 VAR57  
VAR59

/PRINT INITIAL KMO EXTRACTION ROTATION

/FORMAT SORT

/PLOT EIGEN

/CRITERIA MINEIGEN(1) ITERATE(25)

/EXTRACTION PC

/CRITERIA ITERATE(25)

/ROTATION VARIMAX

/SAVE REG(ALL)

/METHOD=CORRELATION.

## Kaynakça

- [1] Birgül Özgüvenç,  
<https://www.a3haber.com/2020/09/15/salginin-psikolojiktikleri-virusleilgili-belirsizlik-depresyon-gibi-hastalikalara-zemin-hazirladi/>. Erişim tarihi.10.08.2021
- [2] Adnan Mazmanoğlu, Etkileşimsiz çapraz 2 faktörlü varyans analizi modellerinde matrislerle çözümleme, İstanbul University, Post graduate thesis, İstanbul, 1984.
- [3] Johannes Petrus van de Geer, Introduction to Multivariate Analysis for the Social Sciences, W. H. Freeman, San. Francisco, 1971, pp. 85-92.
- [4] Harold Hotelling, Analysis of a complex of statistical variables into principal components, Journal of Educational Psychology 24(6) (1933), 417-441.
- [5] Adnan Mazmanoğlu, Faktör Analizi ve Bilgisayarlarda Modern F. A. 'I Yöntemlerinin Kullanımı, Post Graduate Thesis, İstanbul University, 1979, p. 24-52.
- [6] Centers for Disease Control and Prevention, Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) How to Protect Yourself. (2020, 4 April)  
<https://www.cdc.gov/coronavirus/2019ncov/prepare/prevention.htm>.
- [7] Centers for Disease Control and Prevention, Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) How to Protect Yourself. (2020, 4 April) <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/prevention-getting-sick/prevention.html>
- [8] N. L. Zhong, W. Luo, H. M. Li, Q. Q. Zhang, X. G. Liu, W. T. Li and Y. Li, Knowledge, attitudes, and practices towards COVID-19 among Chinese residents during therapidrise period of the COVID-19 outbreak: a quick online crosssectional survey, International Journal of Biological Sciences 16(10) (2020), 1745-1752. doi: 10.7150/ijbs.45221
- [9] European Centre for Disease Prevention and Control, Rapid risk assessment: novel coronavirus disease 2019 (COVID-19) pandemic: increased transmission in the EU/EEA and the UK - sixth update, Access; 2020.  
<https://www.ecdc.europa.eu/en/publications-data/rapid-riskassessment-novelcoronavirusdisease-2019-covid-19-pandemic-increased>.
- [10] M. S. Wolf, M. Serper, L. Opsasnick, R. M. O’Conor, L. M. Curtis, J. Y. Benavente, G. Wismer, S. Batio, M. Eifler et al., Awareness, Attitudes, and Actions Related to COVID-19 Among Adults with Chronic Conditions at the Onset of the U.S. Outbreak 2020. Ann. Intern. Med. doi: 10.7326/M20-1239
- [11] J. Brug, A. R. Aro, A. Oenema, O. Zwart, J. H. Richardus and G. D. Bishop, SARS Risk Perception, Knowledge, Precautions, and Information Sources, the Netherlands. Emerging Infectious Diseases 10(8) 2004. [www.cdc.gov/eid](http://www.cdc.gov/eid)
- [12] G. Akdeniz, M. Kavakcı, M. Gözügök and A. Yalçınkaya, Survey of attitudes, anxiety status, and protective behaviors of the university students during the COVID-19 outbreak in Turkey, Frontiers Psychiatry 11 2020, Article 695.  
<https://doi.org/10.3389/fpsyt.2020.00695>
- [13] European Centers for Disease Control and Prevention, Environmental Cleaning and Disinfection Recommendations, (2020, 5 April). Access address:  
<https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/community/organizations/cleaningdisinfection.html>

- [14] B.L. Zhong, W. Luo, H.M. Li, Q.Q. Zhang, X.G. Liu, W.T. Li and Y. Li. Knowledge, attitudes, and practices towards COVID-19 among Chinese residents during the rapid rise period of the COVID-19 outbreak: a quick online crossMultidimensional Modeling to Find the Most Efficient Factors ... 31 sectional survey, *Int. J. Biol. Sci.* 16(10) (2020), 1745-1752. doi:10.7150/ijbs.45221
- [15] J. Yang, Y. Zheng, X. Gou, et al., Prevalence o comorbidities and its effects in patients infected with SARS-CoV-2: a systematic review and meta-analysis, *Int. J. Infect Dis.* (2020). doi: 10.1016/j.ijid.2020.03.017
- [16] G. Singla, T. Singla and S. Singla, COVID-19 Pandemic - A literature review, *International Journal of Research and Review* 282(7) (2020), 282-293.
- [17] S. S. Dickerson and M. E. Kemeny, Akut stres faktörleri ve kortizol yanıtları: Laboratuvar araştırmalarının teorik entegrasyonu ve sentezi, *Explained in Psychol. Boĝa.* 130 (2004), 355-391.
- [18] Z. Karataş SocialImpacts of COVID-19 Pandemic, Change and Empowerment, *Türkiye Sosyal Hizmet Araştırmaları Dergisi* 4(1) (2020), 3-17. <https://dergipark.org.tr/tushad>
- [19] R. Aslan, Tarihten günümüze epidemiler, pandemiler ve covid-19, *Göller Bölgesi Aylık Ekonomi ve Kültür Dergisi* 8(85) (2020), 35-41.
- [20] W. Li, Y. Yang, Z. H. Liu, Y. J. Zhao, O. Zhang, L. Zhang, T. Cheung and T. Y. Xiang, Progression of mental health services during the covid-19 outbreak in China, *Int. J. Biol. Sci.* 16(10) (2020), 1732-1738.
- [21] Istituto Superiore di Sanità, Characteristics of SARS-CoV-2 patients dying in Italy, Report based on available data on April 29, 2020. COVID-19. 2020. [https://www.epicentro.iss.it/en/coronavirus/bollettino/Report\\_COVID-2019\\_29\\_april\\_2020.pdf](https://www.epicentro.iss.it/en/coronavirus/bollettino/Report_COVID-2019_29_april_2020.pdf) (accessed May 5, 2020).
- [22] Prevention and control of non-communicable diseases in the COVID-19 response. Published Online May 8, 2020. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)31067-9](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)31067-9)
- [23] F. Amanat and F. Krammer, SARS-CoV-2 Vaccines: Status Report, *Immunity* 52(14) (2020), 583-589.
- [24] J. J. V. Bavel, K. Baicker, R. Willer et al., Using social and behavioural science to support COVID-19 pandemic response, *Nature Human Behaviour* 4 (2020), 460- 471.
- [25] S. J. Jung and J. Y. Jun, Mental Health and Psychological Intervention Amid COVID-19 Outbreak: Perspectives from South Korea, *Yonsei Med. J.* 61(4) (2020), 271-272. <https://doi.org/10.3349/ymj.2020.61.4.271>
- [26] B. Pfefferbaum and C. North, Mental Health and the Covid-19 Pandemic, *TheNew England Journal of Medicine* 383 (2020), 510-512. doi: 10.1056/NEJMp2008017
- [27] Z. şenol and F. Zeren, Coronavirus (COVID-19) and stock markets: the effects of the pandemic on the global economy, *Eurasian Journal of Researches in Social and Economics (EJRSE), ASEAD CİLT 7 SAYI 4 Yıl 2020, S 1-16.*
- [28] Y. Zhang and Z. F. Ma, Impact of the COVID-19 pandemic on mental health and quality of life among local residents in Liaoning province, China: A crosssectional study, *Int. J. Environ. Res. Public Health* 17 (2020), 2381. doi:10.3390/ijerph17072381 [www.mdpi.com/journal/ijerph](http://www.mdpi.com/journal/ijerph).
- [29] J. Guo, X. L. Feng and X. H. Wang, Coping with COVID-19: Exposure to COVID-19 and negative impact on livelihood predict elevated mental health problems in Chinese adults, *Int. J. Environ. Res. Public Health* 17(11) (2020), 3857. Published online 2020 May 29. doi: 10.3390/ijerph17113857
- [30] A. Wilder-Smith and D. O. Freedman, Isolation, quarantine, social distancing and community containment: pivotal role for old-style public health measures in the novel coronavirus (2019-nCoV) outbreak, *J. Travel Med.* 27 (2020), 1-4. doi: 10.1093/jtm/taaa020.



# Determination of Fenobucarb and Chlorbenside in Wastewater and Lake Water Samples by Gas Chromatography Mass Spectrometry

Dotse Selali Chormey<sup>1,2\*</sup>

<sup>1\*</sup> Yıldız Technical University, Faculty of Art and Science, Chemistry Department, 34220, İstanbul, Turkey (ORCID: 0000-0002-7412-7800), kuzzynobo@yahoo.com

<sup>2\*</sup> Innova Gold Group, Merkez Mah. Ladin Sok. No:4/B001 Yenibosna, İstanbul, Turkey

(First received 26 April 2021 and in final form 24 September 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.928133)

**ATIF/REFERENCE:** Chormey, D.S. (2021). Determination of Fenobucarb and Chlorbenside in Wastewater and Lake Water Samples by Gas Chromatography Mass Spectrometry. *European Journal of Science and Technology*, (27), 518-521.

## Abstract

The advent of pesticide production on large scale has contributed immensely to the quality and quantity of agricultural products, and averting diseases that stem from pest vectors. Despite these benefits, inappropriate or excessive usage of these chemicals could have negative impacts on humans and other organisms in the environment. Thus, this study was designed to detect and quantify fenobucarb and chlorbenside in wastewater and lake water samples by a gas chromatograph system coupled to a mass selective detector. A suitable temperature program was used to elute the two analytes at distinct retention times, and satisfactory system performance values were obtained under optimum conditions. All standard solutions and spiked samples were gravimetrically prepared in order to enhance the accuracy of quantification. The analytes were not detected in the two test samples, but spike recovery experiments were performed to validate the accuracy of the method. Percent recoveries calculated using the external calibration method were below 75%. Thus, matrix matching calibration method was used to mitigate matrix effects to obtain approximately 100% recovery results for five different spike concentrations.

**Keywords:** Fenobucarb; Chlorbenside; Pesticide; GC-MS; Wastewater; Well water.

## Fenobucarb ve Klorbensit Pestisitlerinin Atıksu ve Göl Suyu Örneklerinde Gaz Kromatografi-Kütle Spektrometresi ile Tayini

### Öz

Pestisit üretiminin büyük ölçekte gelişimi tarım ürünlerinin kalitesinin ve miktarının artmasına önemli ölçüde katkıda bulunmaktadır ve haşere türlerden kaynaklanan hastalıkları engellemektedir. Bu faydalara rağmen, bu kimyasalların uygunsuz ve aşırı miktarlarda kullanımı insanlar ve çevredeki diğer organizmalar üzerinde olumsuz etkilere neden olabilmektedir. Bu nedenle, bu çalışma fenobucarb ve klorbensit pestisitlerinin atıksu ve göl suyu örneklerinde kütle seçici dedektör ile birleştirilmiş bir gaz kromatografi sistemi ile kalitatif ve kantitatif olarak tespit edilmesi amacıyla tasarlanmıştır. Bu iki analiti farklı alıkonma sürelerinde ayırmak için uygun bir sıcaklık programı kullanılmış ve optimum koşullar altında tatmin edici sistem performans değerleri elde edilmiştir. Tayin sonuçlarının doğruluğunun artırılması için tüm standart çözeltiler ve standart ilave edilmiş örnekler gravimetrik olarak hazırlanmıştır. Analitler her iki test örneğinde de tespit edilmemiştir fakat yöntemin doğruluğunu değerlendirmek amacıyla standart ilave edilmiş geri kazanım çalışmaları yapılmıştır. Dış standart yöntemi kullanılarak hesaplanan yüzde geri kazanım değerleri %75'in altında elde edilmiştir. Bu nedenle, matriks etkilerini azaltmak amacıyla beş farklı standart ilave edilmiş derişim için matriks eşleştirmeli kalibrasyon yöntemi kullanılmış ve %100'e yakın geri kazanım sonuçları elde edilmiştir.

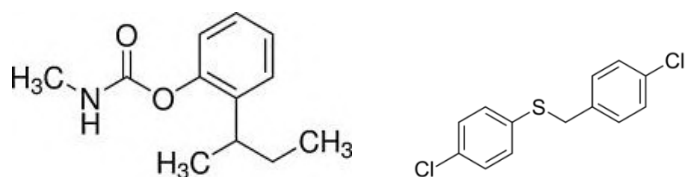
**Anahtar Kelimeler:** Fenobucarb; Klorbensit; Pestisit; GC-MS; Atıksu; Kuyu suyu.

\* Corresponding Author: [kuzzynobo@yahoo.com](mailto:kuzzynobo@yahoo.com)

## 1. Introduction

Pest control is a very critical practice in agriculture and public health, as it ensures crop integrity (quality and quantity) and disease prevention, respectively (Aktar, Sengupta, & Chowdhury, 2009). Pesticides are natural and synthetic chemicals that are used to eradicate pests that pose harm to humans and other organisms (Bahlai, Xue, McCreary, Schaafsma, & Hallett, 2010). Production of synthetic pesticides increased on a major scale in the mid 1940's upon the discovery of dichlorodiphenyltrichloroethane (DDT) as an effective insecticide against insects bearing pathogens that cause diseases such as malaria and typhus (Conis, 2010; Sadasivaiah, Tozan, & Breman, 2007). Despite these prominent advantages accrued from pesticide usage, there are several negative impacts that have been reported for their exposure to humans, animals and the environment. Some health effects that are associated with pesticide exposure include Parkinson's disease, reproductive disorders, breast cancer, prostate cancer, and tumors of the brain, liver, lungs and endocrine glands (Brouwer et al., 2017; Sabarwal, Kumar, & Singh, 2018; Thongprakaisang, Thiantanawat, Rangkadilok, Suriyo, & Satayavivad, 2013). Pesticides can be classified based on their chemical class, target organism, mode of action, mode of application, amongst others (Jayaraj, Megha, & Sreedev, 2016). Organochlorine pesticides, organophosphate pesticides, carbamate pesticides and pyrethroid pesticides are the four main groups of pesticides classified according to their chemical source (Hassaan & El Nemr, 2020). Among these chemical classes, the organochlorines are considered to be very persistent in the environment, posing toxic risks on organisms (Pleština, 2003).

Chlorbenside is an organochlorine pesticide by its chemical class and an acaricide according to its target organism such as mites and ticks. It possesses very efficient ovicidal and larvicidal activities, and it is mostly applied to fruits and other crops prior to their blossom stage (Müller, Streibert, & Farooq, 2009). The persistence of chlorbenside in soil is quite low and it is therefore oxidized into sulfoxide or sulfone in the presence of air. Chlorbenside is an obsolete pesticide that is prohibited from use by the European Union (Commission, 2020). The International Union of Pure and Applied Chemistry describes chlorbenside as a toxicant to the liver and kidneys, and hazardous to the digestive tract system (IUPAC, 2020a). Fenobucarb is another obsolete pesticide that belongs to the carbamate chemical class of pesticides, and it was used as an effective insecticide on farmlands. It was mostly used on cotton and rice farmlands, where it had the potential to leech down into groundwater, or run-off into other surface waters (Zhu et al., 2020). Some human health issues associated with Fenobucarb as stated by IUPAC are skin and eye irritation, inhibition of acetyl cholinesterase and a neurotoxicity (IUPAC, 2020b). The chemical structures of chlorbenside and fenobucarb are given in Figure 1.



**Figure 1.** Chemical structures of fenobucarb (left) and chlorbenside (right).

Gas chromatography is a very useful chromatographic method for the separation of volatile organic compounds, and it can be coupled to several detector systems to detect and quantify compounds (Forgács & Cserhádi, 2003a). Some common detectors that are coupled to GC systems are electron capture detector (ECD), flame ionization detector (FID), thermal conductivity detector (TCD), flame photometric detector (PID) and nitrogen phosphorus detector (NPD) (Forgács & Cserhádi, 2003a, 2003b). The mass selective detector (MSD) is a very powerful tool that when combined with gas chromatography (GC-MS) allows the determination of compounds with high accuracy and precision, and unknown compounds can be further separated and characterized based on different fragmentation patterns (Lindon, Tranter, & Koppenaal, 2016).

The objective of this study was to use GC-MS to separate, detect and quantify chlorbenside and fenobucarb in wastewater and lake water samples, with high accuracy and precision.

## 2. Material and Method

### 2.1. Instrumentation

A 30 m non-polar capillary column (HP-5MS, 250  $\mu\text{m}$  i.d., 0.25  $\mu\text{m}$  film thickness) fitted to a gas chromatograph (Agilent 6890) and mass selective detector (Agilent 5973) was used for separation, detection and quantification of fenobucarb and chlorbenside. The following temperature ramp program was used to elute the analytes through the column into the detector: 30  $^{\circ}\text{C}/\text{min}$  from 100  $^{\circ}\text{C}$  (initial temperature) to 200  $^{\circ}\text{C}$ , 15  $^{\circ}\text{C}/\text{min}$  to 240  $^{\circ}\text{C}$  and 50  $^{\circ}\text{C}/\text{min}$  to 290  $^{\circ}\text{C}$ . The splitless injection mode was employed for all samples and standards, and the injection volume was 1.0  $\mu\text{L}$ . Temperature of the injection port was 250  $^{\circ}\text{C}$ , and the respective temperatures set for the auxiliary line, MS Source and MS Quad were 280  $^{\circ}\text{C}$ , 230  $^{\circ}\text{C}$  and 150  $^{\circ}\text{C}$ . The carrier gas (99.999% helium gas) was programed to flow constantly at a rate of 2.5 mL/min. Using the standard ionization energy of 70 eV, fenobucarb and chlorbenside were qualified/quantified with the fragment ions ( $m/z$ ) 127/125 and 150/121, respectively.

### 2.2. Chemicals

High purity standards (>98%) of fenobucarb (CAS# 3766-81-2) and chlorbenside (CAS# 103-17-3) were purchased from Dr. Erhrentorfer (Augsburg – Germany). Appropriate amounts were dissolved in acetonitrile to prepare stock standard solutions with approximate concentrations of 1.0 g/kg. Mixed intermediate and calibration standard solutions were prepared by making appropriate dilutions of the stock solutions.

### 2.3. Samples

Water was sampled from a Lake at a depth of about 1.0 m into a clean 500 mL polypropylene bottle. The bottle was rinsed about five times with the lake water prior to filling the bottle to the brim. The wastewater sample used in this study was sampled similar to the lake water sample from the open-to-air influent pool at a biological wastewater treatment plant in İstanbul (Turkey). Both aqueous samples were filtered successively through 11  $\mu\text{m}$  regular filter paper and 0.45  $\mu\text{m}$  syringe filter to remove particulate matter.

### 3. Results and Discussion

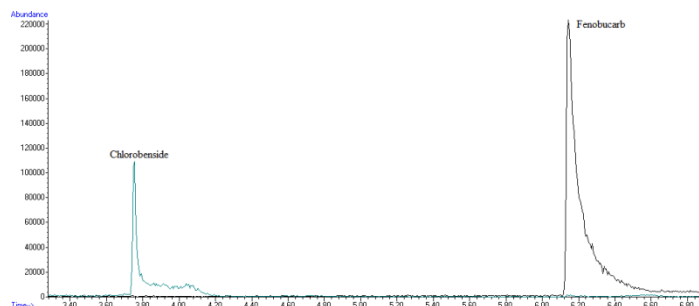
All samples and standard solutions were prepared gravimetrically to enhance the accuracy of quantification. Quadruplicate measurements were performed for samples and standards to determine the precision (repeatability) of the method.

#### 3.1. Qualitative and quantitative analysis

A moderate temperature ramp program (Section 2.1) was employed for complete separation of fenobucarb and chlorbenside, making up a total run time of 7.0 min. The extract ion chromatogram of Figure 2 shows fenobucarb and chlorbenside eluted at the retention times of 3.76 and 6.19 min, respectively. The analytes were confirmed by extracting their mass spectra information and comparing them to the database of compounds compiled by the National Institute of Science and Technology (NIST). Single standards were also sent to the GC-MS system and the peaks obtained conformed to the peaks recorded for the mixed standards. Calibration standard solutions prepared in the linear dynamic range of 1.0 – 100 mg/kg were measured, integrated and the peak area values were used to develop calibration plots that produced coefficient of determination values greater than 0.9998. Both analytes recorded signal-to-noise (S/N) ratios greater 3 for the 1.0 mg/kg calibration standard. As the lowest calibration standard, 1.0 mg/kg was measured seven times and the peak area values obtained were used to calculate standard deviation (StdDev) values for the analytes. The limits of detection (LOD) and quantification (LOQ), and percent relative standard deviation (%RSD) values were calculated using the following respective expressions:  $3 \cdot \text{StdDev}/\text{slope}$ ,  $10 \cdot \text{StdDev}/\text{slope}$  and  $\text{StdDev}/\text{Average} \cdot 100$ . Values of the parameters used to validate the GC-MS system for the analytes are summarized in Table 1.

#### 3.2. Lake water recovery

Farmlands are preferably located close to lakes with the aim of using the water source to irrigate crops regularly throughout the year. The proximity of farmlands to lakes makes them susceptible to contamination from chemicals such as pesticides that are used for pest control. Also, lakes and other surface waters are exposed to anthropogenic and natural matter that alter their matrix and potentially affect the determination of analytes. Thus, water sampled from a lake was analyzed by the GC-MS system but fenobucarb and chlorbenside were not detected, with respect to their detection limits. Spike recovery experiments were then performed by spiking the lake water samples with intermediate standard solutions that were 100 times higher than the desired spike concentrations. This was done to ensure that the lake water matrix would not be significantly diluted or altered by the standard solution. The percent recoveries calculated for the sample spiked at approximately 1.0, 2.5, 5.0, 10 and 25 mg/kg were below 75%, using the external calibration plot of standard solutions prepared in ethanol. To improve upon these results, matrix matching calibration standards were prepared with a different lake water sample and used to develop six-point calibration plots with  $R^2$  values  $\geq 0.9998$ . Satisfactory results were obtained with the matrix matching method as given in Table 2.



**Figure 1.** Extract ion chromatogram of 50 mg/kg mixed standard solution showing well-separated peaks of chlorbenside and fenobucarb.

**Table 1.** Analytical figures of merit of the GC-MS system for chlorbenside and fenobucarb.

Parameter	Chlorbenside	Fenobucarb
LOD, mg/kg	0.28	0.30
LOQ, mg/kg	0.95	1.0
LDR, mg/kg	1.0 – 100	1.0 – 50
$R^2$	0.9998	0.9999
Intra-day %RSD	8.3	10.0
Inter-day %RSD	9.1	8.9

**Table 2.** Percent recovery results calculated for spiked lake water samples.

Spike Concentration	Chlorbenside	Fenobucarb
	%Recovery	%Recovery
1.0 mg/kg	98.8 ± 6.7%	98.4 ± 6.1%
2.5 mg/kg	99.1 ± 4.1%	99.7 ± 3.8%
5.0 mg/kg	100.5 ± 9.8%	101.7 ± 7.1%
10 mg/kg	100.2 ± 2.8%	99.2 ± 9.1%
25 mg/kg	99.6 ± 8.3%	100.6 ± 7.3%

#### 3.3 Wastewater recovery

The matrix of wastewater samples tend to be very complex due to the presence of multiple inorganic and organic compounds, as well as particulate matter. The complexity of wastewater significantly impacts the accuracy of determining analytes of interest. Interferents may either cause positive errors (greater than true value) or negative errors (less than true value), both events that are not desired in the quantification of analytes. Similar to the lake water samples, blank determinations were performed before the spiking experiments and the analytes were not detected. The spiked wastewater samples were quantified with the external calibration method and the results obtained (<70%) were similarly low as observed for the lake water samples. The wastewater recovery results were slightly lower than those recorded for the lake water samples due to its more complex matrix. Thus, the matrix matching calibration method

was applied to enhance the accuracy of quantification, and the results obtained (Table 3) ranged between 96 and 103%.

**Table 3.** Percent recovery results calculated for spiked wastewater samples.

Spike Concentration	Chlorbenside	Fenobucarb
	%Recovery	%Recovery
1.0 mg/kg	102.9 ± 6.9%	102.2 ± 6.8%
2.5 mg/kg	100.2 ± 3.1%	96.7 ± 5.2%
5.0 mg/kg	99.3 ± 9.0%	99.2 ± 3.1%
10 mg/kg	100.0 ± 6.8 %	101.4 ± 6.3%
25 mg/kg	100.2 ± 2.1%	98.7 ± 1.7%

#### 4. Conclusions and Recommendations

In the present study, gas chromatography mass spectrometry was used for the direct determination of fenobucarb and chlorbenside in wastewater and lake water samples. An appropriate temperature program was used for complete separation of the two analytes within a run time of 7.0 min. Lake and wastewater samples tend to have complex matrices that could influence the accuracy of quantifying analytes. Matrix matching calibration strategy was used to overcome the drawback of the external calibration method for the two samples. Percent recovery results calculated for the samples spiked at five different concentrations were in the range of 96 – 103%, and the relative standard deviation values calculated below 10% certified good repeatability for the method.

#### References

Aktar, M. W., Sengupta, D., & Chowdhury, A. (2009). Impact of pesticides use in agriculture: their benefits and hazards. *Interdisciplinary Toxicology*, 2(1), 1-12. doi:10.2478/v10102-009-0001-7

Bahlai, C. A., Xue, Y., McCreary, C. M., Schaafsma, A. W., & Hallett, R. H. (2010). Choosing organic pesticides over synthetic pesticides may not effectively mitigate environmental risk in soybeans. *PloS One*, 5(6), e11250-e11250. doi:10.1371/journal.pone.0011250

Brouwer, M., Huss, A., van der Mark, M., Nijssen, P. C. G., Mulleners, W. M., Sas, A. M. G., . . . Vermeulen, R. C. H. (2017). Environmental exposure to pesticides and the risk of Parkinson's disease in the Netherlands. *Environment International*, 107, 100-110. doi:https://doi.org/10.1016/j.envint.2017.07.001

Commission, E. (2020). EU Pesticides database: Chlorbenside. Retrieved from <https://ec.europa.eu/food/plant/pesticides/eu-pesticides-database/public/?event=activesubstance.detail&language=EN&selectedID=1104>

Conis, E. (2010). Debating the health effects of DDT: Thomas Jukes, Charles Wurster, and the fate of an environmental pollutant. *Public Health Reports*

(Washington, D.C. : 1974), 125(2), 337-342. doi:10.1177/003335491012500224

Forgács, E., & Cserhádi, T. (2003a). 9 - Gas chromatography. In M. Lees (Ed.), *Food Authenticity and Traceability* (pp. 197-217): Woodhead Publishing.

Forgács, E., & Cserhádi, T. (2003b). Chromatography | Principles. In B. Caballero (Ed.), *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition (Second Edition)* (pp. 1259-1267). Oxford: Academic Press.

Hassaan, M. A., & El Nemr, A. (2020). Pesticides pollution: Classifications, human health impact, extraction and treatment techniques. *The Egyptian Journal of Aquatic Research*, 46(3), 207-220. doi:https://doi.org/10.1016/j.ejar.2020.08.007

IUPAC. (2020a). Chlorbenside (Ref: ENT 20696). Retrieved from <https://sitem.herts.ac.uk/aeru/iupac/Reports/1225.htm>

IUPAC. (2020b). Fenobucarb (Ref: Bayer 41367C). Retrieved from <https://sitem.herts.ac.uk/aeru/iupac/Reports/1183.htm>

Jayaraj, R., Megha, P., & Sreedev, P. (2016). Organochlorine pesticides, their toxic effects on living organisms and their fate in the environment. *Interdisciplinary Toxicology*, 9(3-4), 90-100. doi:10.1515/intox-2016-0012

Lindon, J. C., Tranter, G. E., & Koppenaal, D. (2016). *Encyclopedia of spectroscopy and spectrometry*: Academic Press.

Müller, F., Streibert, H. P., & Farooq, S. (2009). Acaricides. *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*, 91 - 190. doi:10.1002/14356007.a01\_017.pub2

Pleština, R. (2003). Pesticides and Herbicides | Types of Pesticide. In B. Caballero (Ed.), *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition (Second Edition)* (pp. 4473-4483). Oxford: Academic Press.

Sabarwal, A., Kumar, K., & Singh, R. P. (2018). Hazardous effects of chemical pesticides on human health—Cancer and other associated disorders. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 63, 103-114. doi:https://doi.org/10.1016/j.etap.2018.08.018

Sadasivaiah, S., Tozan, Y., & Breman, J. G. (2007). Dichlorodiphenyltrichloroethane (DDT) for indoor residual spraying in Africa: how can it be used for malaria control? *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 77(6 Suppl), 249-263.

Thongprakaisang, S., Thiantanawat, A., Rangkadilok, N., Suriyo, T., & Satayavivad, J. (2013). Glyphosate induces human breast cancer cells growth via estrogen receptors. *Food and Chemical Toxicology*, 59, 129-136. doi:https://doi.org/10.1016/j.fct.2013.05.057

Zhu, X.-Y., Wu, Y.-Y., Xia, B., Dai, M.-Z., Huang, Y.-F., Yang, H., . . . Li, P. (2020). Fenobucarb-induced developmental neurotoxicity and mechanisms in zebrafish. *NeuroToxicology*, 79, 11-19. doi:https://doi.org/10.1016/j.neuro.2020.03.013



# Determination of Atraton in Irrigation Canal Water and Soil Samples by Gas Chromatography Mass Spectrometry

Gülten Çetin<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> Yıldız Technical University, Faculty of Art and Science, Chemistry Department, 34220, İstanbul, Turkey (ORCID: 0000-0001-7441-1660)

(First received 30 April 2021 and in final form 20 September 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.930502)

**ATIF/REFERENCE:** Çetin, G. (2021). Determination of Atraton in Irrigation Canal Water and Soil Samples by Gas Chromatography Mass Spectrometry. *European Journal of Science and Technology*, (27), 522-525.

## Abstract

Benefits such as disease prevention, improved food quality and yield are attributed to pesticide usage but severe health effects that arise from their wrong usage and continual accumulation in the environment has called for constant monitoring. This study was performed to determine atraton in irrigation canal water and soil samples by gas chromatography mass spectrometry with high accuracy. Satisfactory analytical figures of merit were obtained for the analyte. Under the optimum conditions, the analyte was not detected in the analysis of irrigation canal water and soil samples and was therefore spiked at different concentrations within the linear calibration range. In order to increase the accuracy of quantifying the analyte in the complex soil matrix, calibration standards were prepared in soil extracts. The percent recoveries calculated for spiked irrigation canal water samples by calibration standards prepared in ultrapure water ranged between 97.6±2.2 % and 109.6±0.6 %. The percent recoveries calculated for spiked soil samples using the calibration standards prepared ranged between 90.3 ±2.3 % and 103.2 ±8.2 %. The linear dynamic range was obtained in the concentration of 0.25 – 10 mg/L. The values for LOD, LOQ and %RSD were respectively 0.08 mg/L, 0.26 mg/L and 8.0 %.

**Keywords:** Atraton; Pesticide; GC-MS; Irrigation canal water; Soil.

## Atratonun Sulama Kanalı Suyu ve Toprak Örneklerinde Gaz Kromatografisi Kütle Spektrometresi ile Tayini

### Öz

Hastalıkların önlenmesi, arttırılmış gıda kalitesi ve ürün verimi gibi faydalar, pestisit kullanımı ile ilişkilendirilmektedir, ancak bunların yanlış kullanımının ve çevrede birikimlerinin sonucunda ortaya çıkan ciddi sağlık etkileri sürekli olarak izlenmelerini gerektirmektedir. Bu çalışma, atratonun sulama kanalı suyu ve toprak örneklerinde gaz kromatografisi- kütle spektrometresi ile yüksek doğrulukta tayinini gerçekleştirmek için yürütülmüştür. Analit için tatmin edici analitik performans verileri elde edilmiştir. Optimum koşullar altında, sulama kanalı suyu ve toprak örneklerinde yapılan analizlerde analit tespit edilememiş ve bu nedenle doğrusal çalışma aralığında bulunan farklı derişimlerde analit standartı ilave edilmesi işlemi gerçekleştirilmiştir. Karmaşık toprak matriksindeki analitin tayininin doğruluğunu arttırabilmek için kalibrasyon çözeltileri toprak örnekleri içerisinde hazırlanmıştır. Standart ilave edilmiş sulama kanalı suyu örnekleri için ultra saf suda hazırlanan kalibrasyon standartlarına göre hesaplanan geri kazanım yüzdesi % 97,6±2,2 - % 109,6±0,6 arasında değişmektedir. Kalibrasyon standartları kullanılarak standart ilave edilmiş toprak örnekleri için hesaplanan geri kazanım yüzdesi ise % 90,3 ±2,3 - %103,2 ±8,2 aralığındadır. Doğrusal dinamik aralık 0,25 – 10 mg/L derişiminde elde edildi. LOD, LOQ ve %RSD sırasıyla; 0,08 mg/L, 0,26 mg/L ve % 8,0 dir.

**Anahtar Kelimeler:** Atraton; Pestisit; GC-MS; Sulama kanalı suyu; Toprak.

\* Corresponding Author: [gultencetin1@hotmail.com](mailto:gultencetin1@hotmail.com)

## 1. Introduction

Pesticides are one of the most economical and effective techniques among the variety of measures used to control, prevent and destroy pests that are a nuisance to humans, plants and animals (Pan et al., 2019). Therefore, the global consumption of natural and synthetic pesticides has increased steadily over the years for application areas including agriculture, parks, homes, gardens, hospitals and other public places (Ramakrishnan, Kadiyala, Sethunathan, & Mallavarapu, 2019). The desired pesticide is one which can act specifically against the target organism without affecting the host organism (Bolognesi & Merlo, 2019). A simple pesticide includes dozens of chemicals such as synergist, emulsifiers, surfactants, thickeners, safeners, buffers or defoaming agents used to increase the effectiveness of the pesticide and to extend the pesticide shelf-life or protect them from degradation (Ascherio et al., 2006). Despite the widespread usage and benefits, pesticides can be harmful for unintended organisms when applied wrongly or at dosages higher than the allowable amount. Inappropriate application and exploitation of pesticides may cause any contaminations in air, soil, plant tissues or water sources (Jayaraj, Megha, & Sreedev, 2016). Since pesticides can be found anywhere in worldwide and it has become a major concern for environmental safety and human health. Exposure to humans can occur through multiple pathways such as consuming contaminated food products, drinking contaminated water or direct inhalation of air polluted with pesticides. The adverse effects that may arise from exposure varies depending on the duration and route of exposure, and the toxicity level of the pesticide (Dhananjayan & Ravichandran, 2018). Some common health disorders associated with pesticide exposure include allergies, asthma, hypersensitivity, hormone disruption, and cancer (Kim, Kabir, & Ara Jahan, 2016).

Herbicides are known as a group of pesticides classified according to their target organisms, weeds. These chemicals are extensively preferred due to their water solubility, easy hydrolysis and adsorption properties (Hromadová et al., 2013). Herbicides are used in areas such as industrial sites, irrigation canals, recreational areas, roadsides, lawns, ditch banks, railroad embankments and fence lines (Bolognesi & Merlo, 2019). The triazine herbicides are chemicals that have symmetrical six-membered ring with alternating carbon and nitrogen atoms (Hu & Chen, 2013). These herbicides are characteristically used to control broadleaf weeds (Báez, Fuentes, & Espinoza, 2013). Studies have shown that triazine pesticides have the potential to cause severe human health effects including endocrine disruption related diseases, cancers and birth defects (Wang et al., 2015). For this reason, the European Union and the Environmental Protection Agency (EPA) have set 0.05 – 0.25 mg/kg as maximum residual limit for most products or banned highly toxic pesticides from use (Wang et al., 2015; Xie et al., 2019). Thus, there is the need to monitor environmental samples to ensure these toxic chemicals are not present or within the acceptable limits.

Pesticides are widely determined by using a chromatographic techniques (Stachniuk & Fornal, 2016). Liquid chromatography (LC) and gas chromatography (GC) are the main types of chromatographic instrumentation that are classified according to the physical state of the mobile phase (Coskun, 2016). GC is very convenient for volatile organic

compounds and there are several detection systems. GC can be coupled with including thermal conductivity detector (TCD), nitrogen phosphorus detector (NPD), flame ionization detector (FID), electron capture detector (ECD) and flame photometric detector (PID) (Forgács & Cserháti, 2003). In addition, GC is combined with mass spectrometry (GC-MS) to achieve a more accurate, selective and precise determination of compounds, as well as characterization of unknown compounds (Niessen, 2017).

The aim of this study was to determine the triazine herbicide atraton by GC-MS in irrigation canal water and soil samples with a simple, but accurate and precise analytical method.

## 2. Material and Method

### 2.1. Instrumentation

Atraton was eluted through a 30 m non-polar HP-5MS capillary column, having internal diameter and film size values of 250  $\mu\text{m}$  and 0.25  $\mu\text{m}$ , respectively. The column was fixed in the oven of an Agilent 6890 gas chromatograph, connected to an Agilent 5973 mass spectrometer. Atraton was qualified and quantified with the fragment ions ( $m/z$ ) 58 and 196, respectively. The ionization energy of the detector was 70 eV, and the respective temperatures of the transfer line, MS Quad and MS Source were 280 °C, 150 °C and 230 °C. Ultrapure helium gas (99.999%) was used as carrier gas at a constant flow rate of 2.5 mL/min. The sample inlet temperature was set at 250 °C and an injection volume of 1.0  $\mu\text{L}$  was used for all sample/standard solutions. A simple temperature program of 50 °C/min from 80 °C to 280 °C was used to elute atraton from the column.

### 2.1. Chemicals

Atraton (CAS# 1610-17-9) standard was purchased from Dr. Erhrenstorfer (Augsburg – Germany) and a 685 mg/L standard stock solution prepared in ethanol. Aliquots were taken from the stock solution to prepare calibration standards and intermediate standard solutions for spiking experiments. The ethanol in analytical grade was purchased from Merck (Germany). The microsyringe (10  $\mu\text{L}$ ) used in the study was washed once with both methanol and ethanol, before and after each sample injection.

### 2.3 Samples

Irrigation canal water was sampled into a 1.0 L polypropylene bottle by rinsing the bottle several times with the sample and filling to the brim. The water sample was filtered in the laboratory through 125 mm filter papers before performing analysis. Soil was taken from different points of the university field and homogenized into a bulk sample. The bulk sample was grinded into fine particles and sieved through a 0.10 cm sieve.

## 3. Results and Discussion

GC-MS system was optimized to lower the detection limit for the analyte. The repeatability of all extractions and instrumental read-out was determined using the average of three integrated peak area values.



### 3.1. Qualitative and quantitative analysis

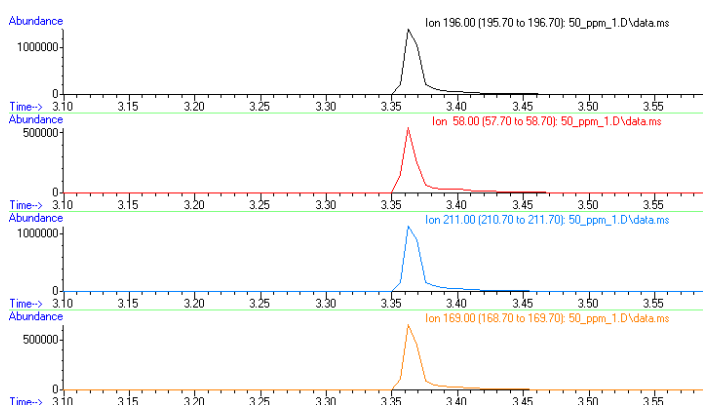
Atraton was eluted from the column at 3.36 min using the temperature program specified in section 2.1. The sharp single peak shown in Figure 1 for 50 mg/L standard solution was confirmed as atraton by extracting its five prominent ion fragments from the total ion chromatogram which resulted in five peaks in the merged format overlaying at the same retention time. The ions of atraton were taken from the search program of the National Institute of Science and Technology (NIST) mass spectrum database. The mass spectrum of atraton also conformed to the in-built compound database of the ChemStation program. A calibration curve was developed with integrated peak areas of standard solutions prepared between 0.25 and 50 mg/L. The linear dynamic range (0.25 – 10 mg/L) produced a coefficient of determination value of 0.9997. The lowest calibration standard (0.25 mg/L) had a signal to noise ratio greater than 3 and it was measured six times to calculate standard deviation (SD). The expressions given below were used in calculating the limits of detection (LOD), limit of quantification (LOQ) and percent relative standard deviation (%RSD):

$$\text{LOD: } 3 \times \text{StdDev/slope} \quad (1)$$

$$\text{LOQ: } 10 \times \text{StdDev/slope} \quad (2)$$

$$\% \text{RSD: } (\text{StdDev/Average}) \times 100 \quad (3)$$

The respective values calculated for LOD, LOQ and %RSD were 0.08 mg/L, 0.26 mg/L and 8.0%. The low %RSD value signified good instrumental repeatability for replicate measurements and the detection limit was in the mid parts per billion level.



**Figure 1.** Extract ion chromatogram showing over of atraton ions m/z: 196, 58, 211 and 169.

### 3.2. Irrigation canal water recovery

Irrigation canals are constructed on farmlands for a constant supply of water to crops. Application of pesticides could result in their contamination and the level of pesticides could increase over time due to accumulation. Soluble pesticides could migrate in plants when the contaminated water is used for irrigation. There are several other compounds that could contaminate water in irrigation canals and these could affect the accuracy of quantifying an analyte(s) of interest in the sample. Water taken from an irrigation canal was analyzed for atraton content but no signal was observed at the determined retention time. The sample was then spiked at four different concentrations (1.0, 2.5, 5.0 and 10 mg/L). When quantified against calibration standards prepared in ethanol, very low percent recovery results (<70%) were obtained. Thus, calibration standards were prepared in

ultrapure water and the recovery results calculated for 1.0, 2.5, 5.0 and 10 mg/L were close to 100% as shown in Table 1.

### 3.3 Soil recovery

Soils are the secondary recipients of pesticides during application since a great percentage fall directly onto them and eventually drip of the leaves of plants. Pesticides that are insoluble stay for very long periods in the soil and could affect microorganisms or end up in the roots of plants. Soil analysis is therefore very crucial but it has a very complex matrix of several organic and inorganic compounds. Fine soil samples were weighed (10 g each) into 15 mL centrifuge tubes and spiked at 2.5, 5.0 and 10 mg/L concentrations. Since ethanol was used to dissolve atraton standard, 5.0 mL was used to extract the spiked soil samples by mechanical shaking for 15 min. After the sample agitation period, the tubes were centrifuged for 120 s at 600 rpm and filtered clean for instrumental determination. The percent recoveries calculated against calibration standards (in ethanol) were satisfactory as presented in Table 1. The recovery results calculated for both irrigation canal and soil sample were satisfactory and showed that atraton can be quantified in the two matrices with high accuracy and precision.

**Table 1.** Percent recoveries for irrigation canal water and soil samples spiked at different concentrations.

Spiked Concentration	Irrigation Canal*	Soil**
1.0 mg/L	109.2 ± 4.2%	–
2.5 mg/L	109.6 ± 0.6%	103.2 ± 8.2%
5.0 mg/L	97.6 ± 2.2%	93.0 ± 1.0%
10 mg/L	100.1 ± 0.7%	90.3 ± 2.3%

\* represents analyte quantified with aqueous standard solution and \*\* represents analyte quantified with calibration standards prepared in ethanol.

## 4. Conclusions and Recommendations

In this study, atraton was directly determined in irrigation canal water and soil samples by gas chromatography mass spectrometry. The analyte was eluted from the capillary column using an appropriate temperature program within 4.0 min. The two sample matrices selected for recovery studies are crucial sources for agricultural farmlands and therefore require efficient methods of analysis. Accurate quantification of atraton in irrigation canal water was achieved using aqueous calibration standards. An efficient extraction method was used to obtain almost 100% recovery of atraton from soil sample spiked at different concentrations.

## References

- Ascherio, A., Chen, H., Weisskopf, M. G., O'Reilly, E., McCullough, M. L., Calle, E. E., Schwarzschild, M.A., & Thun, M. J. (2006). Pesticide exposure and risk for Parkinson's disease. *Annals of Neurology*, *60*(2), 197-203. doi:10.1002/ana.20904
- Báez, M. a. E., Fuentes, E., & Espinoza, J. (2013). Characterization of the atrazine sorption process on andisol and ultisol volcanic ash-derived soils: kinetic parameters and the contribution of humic fractions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *61*(26), 6150-6160. doi:10.1021/jf400950d.
- Bolognesi, C., & Merlo, F. D. (2011). Pesticides: Human Health Effects In: Nriagu, J.O., Ed., *Encyclopedia of Environmental Health*, (pp. 438-453). Elsevier, Burlington.
- Coskun, O. (2016). Separation techniques: chromatography. *Northern Clinics of Istanbul*, *3*(2), 156-160.
- Dhananjayan, V., & Ravichandran, B. (2018). Occupational health risk of farmers exposed to pesticides in agricultural activities. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, *4*, 31-37. doi:https://doi.org/10.1016/j.coesh.2018.07.005
- Forgács, E., & Cserhádi, T. (2003). CHROMATOGRAPHY | Principles. In: B. Caballero (Ed.), *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition (Second Edition)*, (pp. 1259-1267). Oxford: Academic Press.
- Hromadová, M. n., Pospíšil, L. r., Sokolová, R., Bulíčková, J., Hof, M., Fischer-Durand, N., & Salmain, M. I. (2013). Atrazine-based self-assembled monolayers and their interaction with anti-atrazine antibody: building of an immunosensor. *Langmuir*, *29*(52), 16084-16092.
- Hu, S.-W., & Chen, S. (2013). Adsorption of triazine derivatives with humic fraction-immobilized silica gel in hexane: A mechanistic consideration. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *61*(36), 8524-8532.
- Jayaraj, R., Megha, P., & Sreedev, P. (2016). Organochlorine pesticides, their toxic effects on living organisms and their fate in the environment. *Interdisciplinary Toxicology*, *9*(3-4), 90-100. doi:10.1515/intox-2016-0012
- Kim, K.-H., Kabir, E., & Ara Jahan, S. (2016). Exposure to pesticides and the associated human health effects. *Science of The Total Environment*, *575*, 525-535. doi:10.1016/j.scitotenv.2016.09.009.
- Niessen, W. M. A. (2017). Mass Spectrometry: Chromatography–MS, Methods. In: J. C. Lindon, G. E. Tranter, & D. W. Koppenaal (Eds.), *Encyclopedia of Spectroscopy and Spectrometry (Third Edition)*, (pp. 758-763). Oxford: Academic Press.
- Pan, X.-l., Dong, F.-s., Wu, X.-h., Xu, J., Liu, X.-g., & Zheng, Y.-q. (2019). Progress of the discovery, application, and control technologies of chemical pesticides in China. *Journal of Integrative Agriculture*, *18*(4), 840-853. doi:https://doi.org/10.1016/S2095-3119(18)61929-X
- Ramakrishnan, B., Kadiyala, V., Sethunathan, N., & Mallavarapu, M. (2019). Local applications but global implications: Can pesticides drive microorganisms to develop antimicrobial resistance? *Science of The Total Environment*, *654*, 177-189. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.041
- Stachniuk, A., & Fornal, E. (2016). Liquid Chromatography-Mass Spectrometry in the Analysis of Pesticide Residues in Food. *Food Analytical Methods*, *9*(6), 1654-1665. doi:10.1007/s12161-015-0342-0
- Wang, Y., Sun, Y., Xu, B., Li, X., Wang, X., Zhang, H., & Song, D. (2015). Matrix solid-phase dispersion coupled with magnetic ionic liquid dispersive liquid-liquid microextraction for the determination of triazine herbicides in oilseeds. *Analytica Chimica Acta*, *888*, 67-74. doi:https://doi.org/10.1016/j.aca.2015.07.028
- Xie, Y., Wang, M., Chen, X., Wang, S., Han, D., Han, Y., & Yan, H. (2019). 3-Aminophenol-glyoxylic acid resin for the determination of triazine herbicides in tomatoes. *Analytica Chimica Acta*, *1061*, 122-133. doi:https://doi.org/10.1016/j.aca.2019.01.062



# Hoverwing Araçlarda Kaldırma Sistemi için Gövde Tasarımı ve Analizi

Ömer Çağdaş Çınkır<sup>1\*</sup>, Tugay Öztürk<sup>2</sup>, Satılmış Ürgün<sup>3</sup>, Sinan Fidan<sup>4</sup>

<sup>1\*</sup> Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Havacılık Bilimi ve Teknolojileri Bölümü, Kocaeli, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-4610-1267),  
[o.cagdascinkir@gmail.com](mailto:o.cagdascinkir@gmail.com)

<sup>2</sup> Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Havacılık Bilimi ve Teknolojileri Bölümü, Kocaeli, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-2576-3974),  
[tugayoztrk139@gmail.com](mailto:tugayoztrk139@gmail.com)

<sup>3</sup> Kocaeli Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Havacılık Bilim ve Teknolojileri Bölümü, Kocaeli, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-3889-6909),  
[urgun@kocaeli.edu.tr](mailto:urgun@kocaeli.edu.tr)

<sup>4</sup> Kocaeli Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Havacılık Bilim ve Teknolojileri Bölümü, Kocaeli, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-4385-4981),  
[sfidan@kocaeli.edu.tr](mailto:sfidan@kocaeli.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 3 Haziran 2021 ve Kabul Tarihi 13 Eylül 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.947307)

**ATIF/REFERENCE:** Çınkır, Ö.Ç., Öztürk, T., Ürgün, S. & Fidan, S. (2021). Hoverwing Araçlarda Kaldırma Sistemi için Gövde Tasarımı ve Analizi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (27), 526-531.

## Öz

Hava yastıklı taşıtlar hem kara hem de su operasyonlarında kullanılmaya müsait amfibi taşıtlardır. Bu taşıtlar çoğu hava aracı gibi havalanabilmek için kanatlara ihtiyaç duyarken, aynı zamanda gövdesinin alt kısmından basınçlı havayı koşullandırarak yukarı yönde kuvvet oluşturur. Yönlendirilmiş hava ve aracın ağırlığı sebebiyle gövde altında basınçlı bir hava bölgesi oluşur (Air cushion). Böylece hoverwing kum, çakıl, çamur ve su üstünde uçak gibi uçarken aynı zamanda da bot gibi suda yüzdürülebilir. Bu çalışmada üretilmesine karar verilen bir hoverwing taşıtın gövdesine eklenecek olan kaldırma sistem tasarımı ele alınmıştır. Bu süreç esnasında hull Solidworks'de çizilmiş, Ansys Fluent'te akış analizleri yapılmıştır. Bu analizler doğrultusunda optimum inlet açısının "realizable k-e" türbülans modellemesi kullanılarak 22° olduğu saptanmıştır. Böylece gövde çıkışlarından etek girişlerine laminer ve yeterli basınçta hava dağıtımı yapılırken bu havayı sağlayacak inlet, aracın genel tasarımına uygun bir şekilde tasarlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** ANSYS, FLUENT, H.A.D., Hoverwing, Hava Yastıklama, Realizable k-e.

# Fuselage Design and Analysis for Lifting System in Hoverwing Vehicles

## Abstract

Air cushion vehicles are amphibious vehicles suitable for use in both land and water operations. While these vehicles, like most aircraft, need wings to take off, they also create an upward force by conditioning the compressed air from the lower part of the body. Due to the directed air and the weight of the vehicle, a compressed air zone is created under the body (air cushion). Thus, the hoverwing can fly like an airplane on sand, gravel, mud, and water while at the same time floating in the water like a boat. In this study, the design of the lifting system to be added to the body of a hoverwing vehicle decided to be produced is discussed. During this process, hull was drawn in Solidworks and flow analysis was made in Ansys Fluent. In line with these analyzes, it was determined that the optimum inlet angle was 22° by using "realizable k-e" turbulence modeling. Thus, while air is distributed from the body exits to the skirt inlets with laminar and sufficient pressure, the inlet that will provide this air has been designed in accordance with the general design of the vehicle.

**Keywords:** Air Cushion, ANSYS, CFD, FLUENT, Hoverwing, Realizable k-e.

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

## 1. Giriş

Hoverwing taşıtlar hava yastıklaması prensibinden faydalanan araçlardır. Bu sayede karada, suda ve çamurlu yüzeylerde operasyon yürütebilirler. Howerwing araçlar, itki ve kaldırma olmak üzere iki temel kuvvet sayesinde hareket ederler. Kaldırma kuvveti sadece kanatlar tarafından üretilmez, buna yardımcı olarak kaldırma sistemi kullanılır(Tiwari, 2015). Kaldırma sistemi sayesinde gövde ve yüzey arasında atmosferik basınçtan daha yüksek basınca sahip bir alan oluşturulur. Yastıklama diye tabir edilen bu basınçlandırılmış bölgedeki hava, gövde ile su yüzeyi arasında sürtünmeyi azaltarak suyun taşıta uygulamış olduğu hidrodinamik kuvveti minimize eder. Ayrıca basınçlı hava gövdeyi saran bir etek yapısının içinde olduğu için taşıt küçük engeller üzerinden hasar almadan operasyon yürütülmesine olanak sağlar(Durgawale, Mali, Patil, Raut ve Suryawanshi, 2017).

Yer etkisi olgusu ilk olarak 1920'li yıllarda araştırılmaya başlanmıştır. İlk yer etkili taşıt olarak adlandırılan "wing-ram" Finli mühendis T. Kaario tarafından 1935 yılında üretilmiştir. Fakat stabilite sorunu aşılammıştır. Pratikte ilk çalışan yer etkili taşıt, diğer adıyla Ekoroplan Rus mühendis R. Alexeyev tarafından tasarlanmıştır. 510 ton ağırlığındaki KM (Hazar Denizi Canavarı) 1960'lı yıllarda üretilmiştir. Aynı yıllarda Alman ve Amerikan mühendisler yer etkili taşıt çalışmaları geliştirmişlerdir. 1980'lerden günümüze çok sayıda eğlence ve bireysel amaçlı yer etkili taşıt tasarlanıp da ticarileşme süreçlerini henüz tamamlayamamışlardır(Martin, Vehicle, Williams ve Wunderlin, 2016).

Hull yapısı havayı yönlendirmede yardımcı bir yapısaldır. Hull yapısının birçok işlevi mevcuttur. Genellikle kutu şeklindedir ve taşıtın ortasına yerleştirildiğinden taşıtın yüzme kabiliyetini artırır. Aynı zamanda rijit yapıları sayesinde diğer parça ve cihazların montajına olanak sağlarlarken, yük ve yolcu dağılımında ana yapısalara destek olur. Yaygın olarak kullanılan hull yapıları kutu şeklindedir. Bu sayede kaynaklı veya perçinli üretimi sayesinde sızdırmazlığı sağlanabilir (Martin, Vehicle, Williams ve Wunderlin, 2016; Abele ve Brown, 1977).

Küçük ölçekli Hoverwing taşıtlarda etek yapısı hull dan çıkan dairesel delikler sayesinde beslenir. Yapısal yük ve aracın rijitliği göz önüne alındığında küçük ölçekli hoverwing taşıtlarda kompozit hull yapısı uygulanabilir. Bu sayede elde edilen tasarım esnekliğiyle hull yapısı hava yönlendirmede daha efektif bir şekilde kullanılabilir. Bu çalışmada bu konuya değinilmiştir(Sun ve Xia, 2002).

Rüzgar tünelleri, hava akışının bir katı etrafındaki hareketini incelemek ve ölçmek için rüzgarın fanlar tarafından veya basınçlı hava ile üretildiği tesislerdir (dairesel, eliptik veya dikdörtgen tüneller vb.). Test bölümü, katının çalışıldığı çevrimin parçasıdır. On dokuzuncu yüzyılın sonlarında icat edilen bu aerodinamik laboratuvarlar, yirminci yüzyılın başlarında faaliyete geçmiştir. Yöntem, 1687'de Isaac Newton tarafından dile getirilen görelilik ilkesine dayanmaktadır.

Günümüzde deneysel uygulama düzeneklerinin pahalı ve zaman alıcı olmasından dolayı maliyeti azaltıp zamandan kazanmak için hızlı bir şekilde ve aynı zamanda doğru olarak çözümlenebilen bilgisayar programları geliştirilmiştir. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) yöntemleri akışı yöneten denklemleri nümerik analizlere ve sayısal algoritmalara dönüştürerek ve güçlü bilgisayarlar kullanarak çözümlenmesini

sağlayan modern yöntemlerdir. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) tekniklerinin endüstriyel ve endüstriyel olmayan alanlarda kullanımı oldukça yaygındır. Bunların en önemli örnekleri havacılık, savunma ve otomotiv endüstrisidir. Aynı zamanda belirlenen koşullar ve senaryo çerçevesinde herhangi bir anda herhangi bir noktadaki akışkanı gözlemleme ve inceleme imkânı sunmaktadır (Bhaskaran ve Collins, 2002).

Literatürde hava yastıklamalı araçlarla alakalı çalışmalar olsa da Howerwing gibi hem hava yastıklamalı hem de kanatlı tasarım, uçuş stabilitesi ve ticari kaygılardan dolayı fazla yaygınlaşmamıştır. Yine de hava yastıklaması ve yer etkisi için hovercraft'larda yapılan çalışmalar ve deneyimler bu çalışmaya ışık tutmuştur. Hull'un kutucuk şeklindeki yapısı ve bizim istediğimiz stabil ve aynı zamanda eşit basınçlı hava çıkışları bize analiz benzerliklerini kullanma imkanı sağlamıştır. Ancak literatüre baktığımızda Yun ve Bliault'un ders kitabı temel bir referanstır(Sun ve Xia, 2002). HAD analizleri temelde, içeri akış ve dışarı akış olarak ikiye ayrılır. İçeri veya dışarı akış olma durumuna göre yapılacak olan HAD analizinin katı duvar kısımları belirlenir ve ona göre analize uygun sınır şartları belirlenir. Böylelikle doğru akış denklemleri kullanılabilir (Dal, Özkaya ve Şahin, 2020; Kaya ve Özcan, 2013). Bal'ın (2019) yapmış olduğu çalışmada k-ε, HAD analizleri ve Akdemir, Edis, Öztürk ve Ülger'in (2012) yaptıkları çalışmalar hull yapısının iç hacmindeki içeri akışın üç boyutlu modellenmesine örnek teşkil etmiştir. "Soğuk Hava Depolarında Ortam Koşullarının Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (CFD) ile Modellenmesi" isimli çalışmada hull yapısının modellenmesi ve analizi yapılmıştır (Sun ve Xia, 2002). Hovercraft tasarımında genel geliştirme sürecini takip edildiği ve analizlerini yapıldığı çalışmalar bulunmaktadır (Anant, Bhardwaj, Bohidar, Jaiswal ve Sen, 2014; Sun ve Xia, 2002).

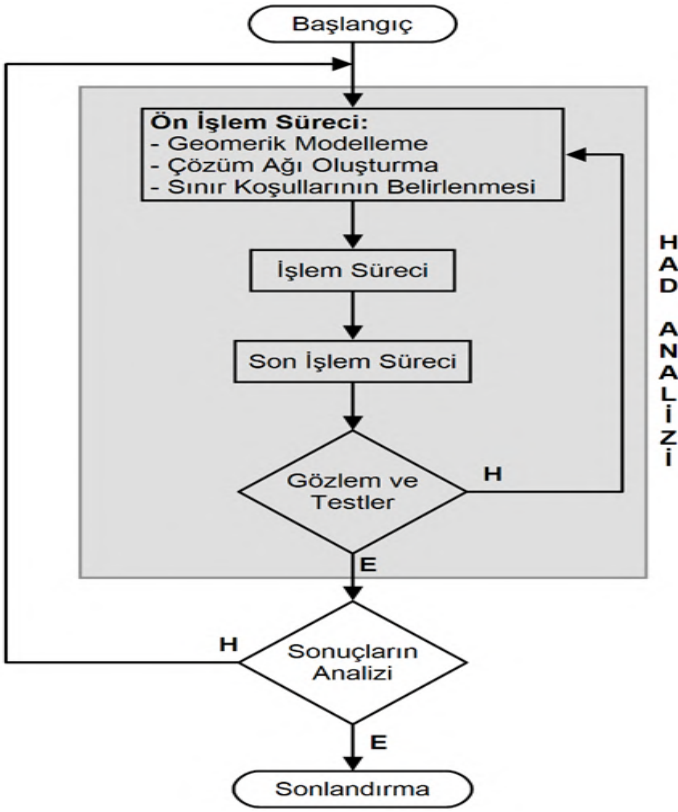
Bu çalışmada hull yapısının kendinden beklenen basınçlı havayı düz uçuş sırasında aracın dengesini bozmayacak şekilde homojen olarak hull içerisinde dağıtılması ve aynı zamanda hava yastıklama etkisini yaratması için analizler yapılmıştır. 00 giriş açısından başlanarak 300 ye kadar giriş açısı değiştirilerek optimum giriş açısı elde edilmeye çalışılmıştır. Aynı zamanda giriş açısı değiştirilerek yapılan bu analizlerde havanın hull yapısı içerisinde ve çıkış alıklarında en homojen ve türbülanssız olarak yayılımı elde edilmeye çalışılmıştır. Çalışma için en uygun analiz metodunun seçimi Şekil 2'deki HAD akış fizikleri blok diyagramı takip edilerek oldukça geniş kullanıma sahip ticari yazılım olan ANSYS FLUENT kullanılmıştır. Yazılımın bize sunduğu denklem paketlerinden elimizdeki geometri için gerçeğe en yakın sonuçları veren "realizable k-ε" türbülans modellemesi tercih edilmiştir. Yapılan bu analizler sonucunda havanın optimum geliş açısının 22° olduğu elde edilmiştir. Buna müteakip hull içinde havanın duvarcıklar yardımıyla yönlendirilmesinin de faydalı olduğu saptanmıştır.

## 2.1. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiğinin Uygulanması

Hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizini gerçekleştirmek için ilk önce problemi matematiksel olarak ifade etmek ve bilimsel etmek gerekir. Son olarak bilgisayar analiz programı tarafından dikte edilen hesaplamaları yapar.

Prensip olarak bir simülasyon gerçekleştirmek için üç farklı ana görev yapılmalıdır. Bunlar; ön işlem süreci, işlem süreci ve

son işlem sürecidir. Bu süreçler ve ara basamakları Şekil 1'de akış şeması olarak verilmiştir (Liu, Tu ve Yeoh, 2018).

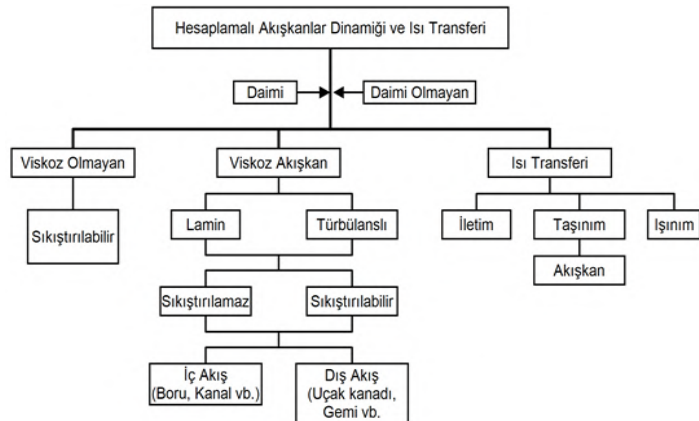


Şekil 1. HAD Analizi Akış Şeması

### 2.1.1. Ön İşlem Süreci

Bu çalışmada ön işlem süreci sayısal çözüm aşamasıdır. Bu aşama, problem hakkında düşünmeyi, çözüm ağı oluşturmayı ve hesaplama modeli oluşturmayı içerir.

Problem hakkında düşünmek HAD kullanımının ilk adımındır. Böylece problemin çözümüne dair uygulayabileceğimiz metotlar ve matematiksel modellemeleri ön görebiliriz. CAD programlarıyla modellenen geometri HAD programına entegre edilir. Bundan sonra geometri çözüm ağı ile HAD programının hesaplama yapabileceği bir zemin oluşturulur. Çözüm ağı oluşturma işlemi tamamlandıktan sonra problemin sınır koşulları belirlenir. Bu koşullara akış parametreleri ve fiziksel özellikleri de dahildir. İyi bir analiz için bunların yanı sıra örgü yoğunluğu ve örgü sayısı kritik bir öneme sahiptir.



Şekil 2. HAD akış fizikleri blok diyagramı (Lauder ve Sharma, 1974).

HAD akış diyagramı değerlendirilirken, en uygun metodu seçebilmesi için öncelikle akış fiziklerinin iyi bir şekilde tamamlanması gereklidir. Bunun için birinci adım akışımızın daimi mi yoksa geçici mi olduğuna karar vermektir. İkinci adım akışın, viskoz olmayan akışkan mı viskoz akışkan mı olduğunu belirlemektir. Bu çalışmada hava viskoz akışkan olduğu için ve Reynold katsayımız 105 den daha büyük olduğu için türbülanslı akış kategorisine dahil olmaktadır. Türbülanslı akışlar sıkıştırılabilir ve sıkıştırılmaz akış olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Bu çalışmada hava hızı 0.064 Mach dir. 0.3 Mach'a kadar hızı sahip akışkanlar sıkıştırılmaz kabul edildiği için bu çalışmadaki akışkan sıkıştırılmaz kabul edilmiştir. Son adım akış ortamına karar verilmesidir. Bu çalışmada bir hava alığından içeriye gönderilen hava, çok sayıda çıkış alıklarından dış ortama gönderildiği için akışımız bir iç akıştır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.2. Tasarlanan Hull Yapısının Ansys Fluent ile Analizi

#### 2.2.1. Geometrik Modelleme

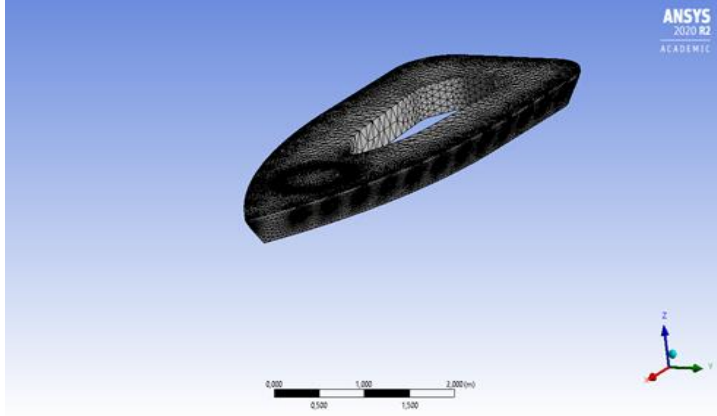
Analizi yapılacak olan geometri Solidworks CAD programında çizilmiştir. Güvertenin üst yüzeyi 5565 mm uzunluğunda ve 2350 mm genişliğindedir. Alt yüzey ise su yüzeyindeki hidrodinamik kuvveti minimize etmek amacıyla 30 derece açı verilerek 300 mm derinlik ile tasarlanmıştır. Orta bölümde yer alan oda havanın yönlendirilmesi amacıyla yerleştirilmiştir. Giriş hava alığının çapı 850 mm ve çıkış hava alıklarının çapları 130 mm olup 31 adettir.

#### 2.2.2. Çözüm Ağı Oluşturma

Tablo 1'de verilen parametre ve koşullarla ANSYS FLUENT'te temel geometri modeli oluşturulmuştur. Seçilen parametreler geometrinin malzemesine akışkanın türüne ve sınır koşullarına dayanmaktadır. Element boyutları ve sayısı literatürde yapılmış olan çalışmalar göz önünde bulundurularak çözüm ağı oluşturulmuştur. Çok sayıda yazılım programı olmasına rağmen kompleks ve gerçeğe en yakın sonuçları elde etmemizi sağlayan ANSYS FLUENT(HAD) programı seçilerek analizler yapılmıştır. Tablo 1'de kullanılan çözüm ağı modellemesinin verileri ve Şekil 3'te çözüm ağı modellemesinin geometri üzerindeki uygulaması verilmiştir. Bu çerçevede kullanılan lisanslı yazılımın element sayısı limitinden kaynaklı olarak 494529 adet element ve 94966 adet düğüm oluşturulmuştur. Gerçeğe en yakın sonuçlar elde edilebilmesi için kullanabileceğimiz maksimum element sayısı budur. Geometrinin keskin yüzeyli yapısından dolayı en uygun ağ türü üçgen yapıdır.

**Tablo 1.** HAD Analizinde Kullanılan Koşulların Detayları.

Materyal Türü	Akışkan
FLUENT Akışkan Materyalleri	Hava
Yoğunluk	1,225 kg/m <sup>3</sup>
Viskozite	1.7894e-05 kg/m-s
Gövde Malzemesi	Alüminyum
Hız	22.22 m/s
Enerji Denklemi	Açık
Düğüm	94966
Element Sayısı	494529
Çözüm Ağının Türü	Üçgen



**Şekil 3.** Çözüm Ağı.

### 2.2.3. Sınır Koşullarının Belirlenmesi

“Realizable k-ε” modeli bir çift denklemlidir. Türbülans viskozitesindeki taşınım denklemini çözmek için iki ayrı denkleme sahiptir. k-ε modeli düzlemsel kayma gerilmesi (planar shear stress) ve devir daim akışları (recirculating flows) için tasarlanmıştır. Bu model endüstriyel ve çevresel akışlar için oldukça geniş bir kullanım alanına sahiptir. Reynolds kayma gerilmelerinin en önemli yere sahip olduğu sınırlı akışlar (confined flows) ve küçük basınç gradyanlı serbest kayma tabakalı (free-shear layer) akışlar için oldukça kullanışlıdır. B.E. Launder ve D.B. Spalding tarafından 1974 yılında ortaya atılmıştır. “Realizable k-ε” türbülans modelinin denklemi aşağıda verilmiştir (Maples, Morse, Launder ve Spalding, 1974).

### 2.2.4. Taşınım Denklemleri

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho k u_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + P_k + P_b - \rho \epsilon - Y_M + S_k \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \epsilon) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho \epsilon u_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right] + \rho C_1 S_\epsilon - \rho C_2 \frac{\epsilon^2}{k + \sqrt{\nu \epsilon}} + C_{1e} \frac{\epsilon}{k} C_{3e} P_b + S_\epsilon \quad (2)$$

Buradan

$$C_1 = \max \left[ 0.43, \frac{n}{n+5} \right], \quad n = S \frac{k}{\epsilon}, \quad S = \sqrt{2 S_{ij} S_{ij}} \quad (3)$$

Bu denklemlerde hız gradyanları tarafından üretilen türbülans kinetik enerjisinin ifadesidir. Standart k-ε model ile aynı yoldan hesaplanır. P<sub>b</sub> ise kaldırma kuvveti ile üretilen türbülans kinetik enerjisinin ifadesidir. Buda yine standart k-ε model ile aynı yoldan hesaplanır.

Türbülans viskozitesinin modellenmesi:

$$u_t = \rho C_u \frac{k^2}{\epsilon} \quad (4)$$

Buradan

$$C_u = \frac{1}{A_0 + A_8 \frac{k U \epsilon}{\epsilon}} \quad (5)$$

$$U^* \equiv \sqrt{S_{ij} S_{ij} + \tilde{\Omega}_{ij} \tilde{\Omega}_{ij}} \quad (6)$$

$$\tilde{\Omega}_{ij} = \Omega_{ij} - 2 \epsilon_{ijk} \omega_k \quad (7)$$

$$\Omega_{ij} = \underline{\Omega}_{ij} - \epsilon_{ijk} \omega_k \quad (8)$$

$$A_0 = 4.04, \quad A_8 = \sqrt{6} \cos \cos \phi \quad (9)$$

$$\phi = \frac{1}{3} (\sqrt{6} W), \quad W = \frac{S_{ij} S_{jk} S_{ki}}{S^3}, \quad \tilde{S} = \sqrt{S_{ij} S_{ij}}, \quad S_{ij} = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial u_j}{\partial x_i} + \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) \quad (10)$$

Modelin deneysel sabitleri:

$$C_{1\epsilon} = 1.44 \quad C_2 = 1.9, \quad \sigma_k = 1.0, \quad \sigma_\epsilon = 1.2$$

### 2.2.5. İşlem Süreci

Güvertenin üst kısmında hava alığına yerleştirilen fanın içeriye optimum hava üfleme hızı olan 22.22 m/s ile hull bölgesine 0° ile 30° arasında hava üflenerek iç bölge hava ile doldurulmuştur. Doldurulan hava ile çıkış alıklarında oluşan ve sadece hava akışı ile oluşacak olan dinamik basınç, türbülans ve hız büyüklükleri gözlemlenerek optimum hava giriş açısı ve çıkış alıklarında oluşan dinamik basınç dağılımları, türbülans ve hız değerleri elde edilmeye çalışılmıştır. Bu süreçte deneylere en yakın değerleri elde etmemize olanak sağlayan basınç temelli “realizable k-ε” standart Wall Functions matematiksel modellemesi seçilmiştir. Momentum Second Order Upwind ve referans değer ve başlangıç pozisyonu olarak giriş hava alığı değerleri alınmıştır. Analiz işlem süreci seçimleri aşağıdaki Tablo 2’de verilmiştir.

**Tablo 2.** Analiz seçim tablosu.

Çözücü Seçimi	Basınç Temelli
Matematiksel Model	Realizable k-ε Standart wall functions
Çözüm Kontrolleri	Gauss-Seidel Akış Türbülans Enerjisi
Momentum	Second Order Upwind Scheme
Başlatıcı Değerler	Giriş Değerleri
Görüntülenen Güçler	Dinamik Basınç, Türbülans Yoğunluğu
Referans Değerler	Giriş Alığı Değerleri
Yakınsama Sınırı	1x10 <sup>-6</sup>

### 2.3. Gövde Tasarımı ve Analizi

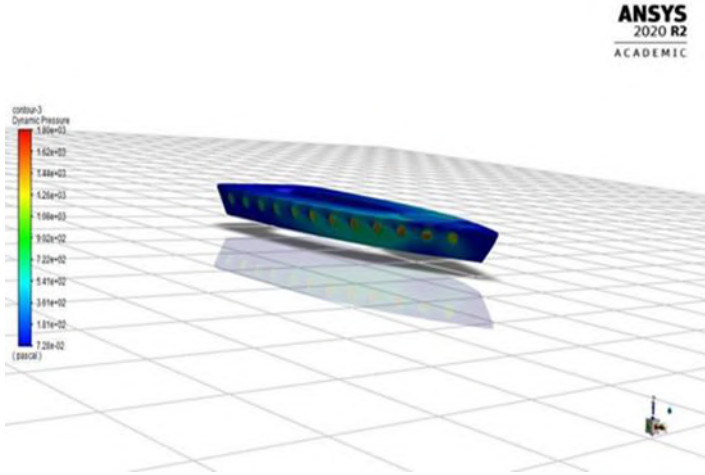
Yapılan analizler sonucunda en ideal hava giriş açısının 220 olduğu gözlenmiştir. Hull’un orta bölümüne yerleştirilen adacık yardımıyla hem iç bölgenin tamamen doldurulması için gereken hava miktarı düşürülmüş ve arka bölgede yer alan çıkış alıklarına hava yönlendirilmesi sağlanarak tüm hava çıkış alıklarında homojen ve minimum türbülanslı hava akışı sağlanmıştır.

Çıkış alıklarındaki dinamik basınç oluşumu, kontur grafiklerine bakıldığında gözükmemektedir. Hull geometrisi sol taraftan önden arkaya olacak şekilde incelendiğinde tam

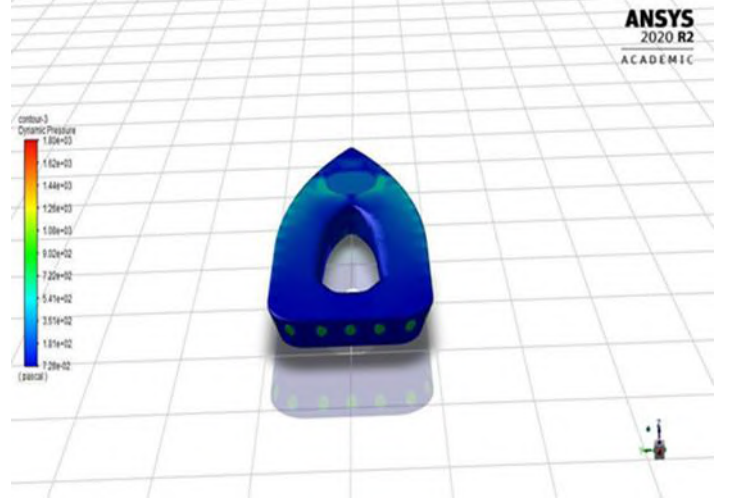
manasıyla eşit olmasa da dinamik basınç oluşmuştur. Böylece aracın gövde altında oluşacak olan hava yastıklamasına basınçlı hava tedariki sağlanmıştır.(Bkz. Şekil 4) Şeklin boydan simetrik yapısı da göz önünde bulundurularak sağ taraftan önden arkaya çıkış alıklarında da dinamik basınç oluşumu gözlemlenmiş ve hava yastıklamaya basınçlı hava tedarik edilmiştir.(Bkz. Şekil 5)

Hull yapısının geometrik şekline bakıldığında en arkadaki çıkış alıklarında dinamik basınç oluşumu oldukça hassas bir konudur. Çünkü bu alıklar hem giriş alığına uzak hem de basınçlı akışkan buraya gelene kadar kademeli olarak sağ ve sol çıkış alıklarından basınç kaybı yaşamaktadır. Ancak yapılan çalışmada Hull yapısına arkadan baktığımızda giriş alığına belli bir açıyla hava yönlendirerek arkadaki beş adet alıkta dinamik basınç gözlemlenmiştir. Hoverwing aracını seyir halinde düşünecek olursak bu beş çıkış alığı denge açısından kritiktir çünkü aracın en arkasında oluşabilecek bir basınç düşümü aracın gövde altında oluşan hava yastıklamasının dengesiz hale gelmesine sebep olabilir. (Bkz. Şekil 6)

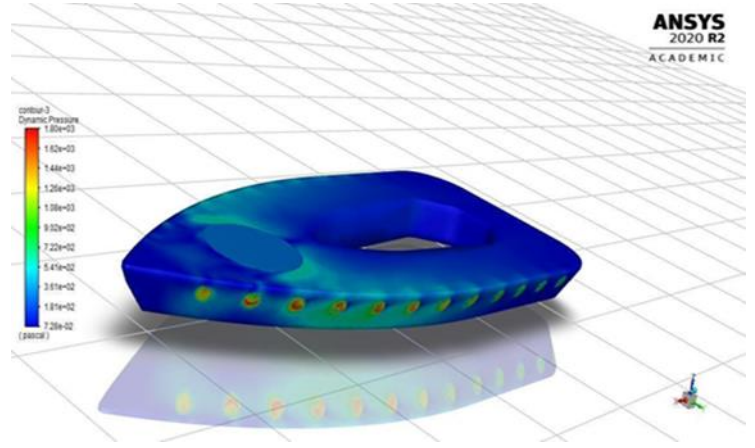
Her çıkış alığına basınçlı bir basınçlı hava gönderilerek yapı içerisindeki akışın sürekliliği sağlanmış ve iç yapıda herhangi bir türbülans ve ters akış oluşumu gözlemlenmemiştir. Türbülans yoğunluk vektör grafiğine bakıldığında vektör yoğunlaşmasının giriş alığının kenarında arttığı gözlemlenmiştir. Bunun sebebi giriş alığının keskin bir yapıda olmasıdır. Giriş alığına hava sağlayacak pervanenin kavis köşeli bağlantısı ile bu sorun giderilecek ve sistem açısından sorun teşkil etmeyecektir. Çıkış alıklarında oluşan girdap şeklindeki türbülans vektörleri ise yüksek basınçtan alçak basınca geçen havanın doğal sonucudur.(Bkz. Şekil 7)



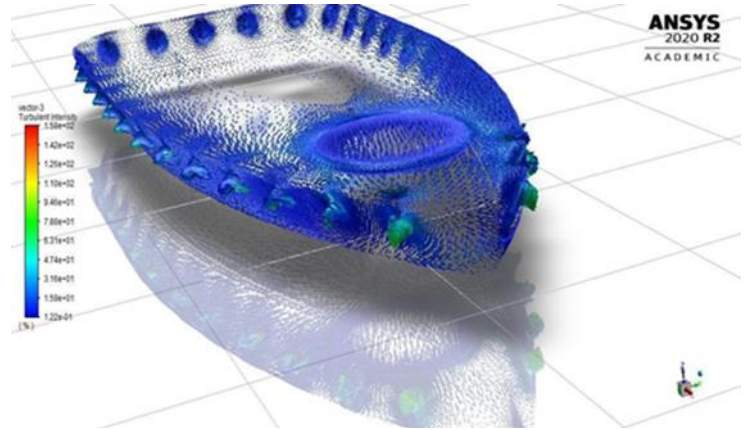
Şekil 4. Dinamik basınç konturu sol yan görünüşü.



Şekil 5. Dinamik basınç konturu arka görünüşü.



Şekil 6. Dinamik basınç konturu sağ yan görünüşü.



Şekil 7. Türbülans yoğunluk vektörleri.

## 4. Sonuç

Bu çalışmada gözlemlediğimiz üzere hull yapısının üzerindeki çıkış alıklarından tatmin edici bir hava çıkışı elde edebilmemiz için giriş alığından sağlanacak havanın giriş açısı hayati önem taşımaktadır. Aksi takdirde hull yapısının arka tarafında kalan çıkış alıklarında yeteri miktarda dinamik basınç elde edilemez ve aynı zamanda ön ve arka çıkış alıklarında oluşan basınç farkından dolayı dengesizliğe sebep olabilir. Hull yapısının yapısal ve fiziki özelliklerinden dolayı seçilen

türbülans modellemesi “realizable k-ε” olmuştur. Bu türbülans modellemesinde giriş alığına çeşitli açılarda açılarda belli değerlerde hava gönderilmiştir. Yapılan çeşitli analizler sonucunda optimum giriş alığı açısının  $22^0$  olduğu saptanmıştır. Böylece istenildiği gibi her bir çıkış alığına dengesizlik yaratmayacak şekilde basınçlı hava sağlanmıştır.

İleriki çalışma olarak düşük ve yüksek dinamik basınca sahip çıkış alıklarının çapları değiştirilerek homojene en yakın değer elde etmek amacıyla, tüm alıklardan sabit dinamik basınç elde edilmesi için yeni analizler yapılabilir.

## Kaynakça

- Abele , G., & Brown, J. (1977). Arctic transportation: operational and environmental evaluation of an Air Cushion Vehicle in Northern Alaska.
- Akdemir, S., Öztürk, S., Edis, F. O., & Ülger, P. (2012). Soğuk hava depolarında ortam koşullarının hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) ile modellenmesi. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 241-248.
- Bal, Ş. (2019). DEĞİŞKEN ENKESİTLİ AÇIK KANAL AKIMININ DENEYSEL VE SAYISAL MODELLEMESİ. <http://acikerisim.harran.edu.tr:8080/jspui/bitstream/11513/2067/1/555791.pdf> adresinden alındı
- Bhaskaran, R., & Collins, L. (2002). Introduction to CFD basics. 1-21. Cornell University-Sibley School of Mechanical and Aerospace Engineering.
- Broughton, K., Martin, D., Williams, D., & Wunderlin, N. (2016). Multipurpose Off-road Flying Vehicle.
- Durgawale, A. A., Raut, S. S., Suryawanshi, A. L., Patil, S. P., & Mali, V. P. (2017). Design and Fabrication of Hovercraft. *International Engineering Research Journal*, 1-4.
- Lauder, B., & Sharma, B. I. (1974). APPLICATION OF THE ENERGY-DISSIPATION MODEL OF TURBULENCE TO THE CALCULATION OF FLOW NEAR A SPINNING DISC. *LETTERS IN HEAT AND MASS TRANSFER*, 131-138.
- Okafor, B. (2013). Development of a Hovercraft Prototype. *International Journal of Engineering Technologies*, 276-281.
- Özcan, O., & Kaya, K. (2013). A numerical investigation on aerodynamic characteristics of an air-cushion vehicle. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 70-80.
- Paval, M. S., Popescu, A., Popescu, T., Zahariea, D., & Husaru, D. E. (2018). Numerical study on the movement of air inside the inner cavity of a hovercraft model. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, (s. 1-10).
- Spalding, D. B., Launder, B. E., Morse, A. P., & Maples, G. (1974). *COMBUSTION OF HYDROGEN-AIR JETS IN LOCAL CHEMICAL EQUILIBRIUM*.
- Şahin , H. M., Dal, A. R., & Özkaya, M. (2020). Numerical Analysis by RNG k-ε Turbulent Model of a Concentric Tube Heat Exchanger with Coiled Wire Turbulator . *Fen Bilimleri Dergisi*, 64-78.

Tiwari, A. (2015). TO STUDY AND FABRICATION OF AIR CUSHION VEHICLE. *INTERNATIONAL JOURNAL OF RESERACH*, 70-84.

Tu, J., & Yeoh, G. H. (2018). *Computational Fluid Dynamics (A Practical Approach)*. Butterworth-Heinemann.

Xia, B., & Sun, D.-W. (2002). Applications of computational fluid dynamics (CFD) in the food industry: a review. *ELSEVIER*, 5-24.





# Adölesanlarda Sağlık Okuryazarlığı ve Beslenme Okuryazarlığının Diyet Kalitesine Etkisi

Münire Kırşan<sup>1\*</sup>, Burcu Ateş Özcan<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> İstanbul Okan Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-5079-9653), [mnr.dastan@hotmail.com](mailto:mnr.dastan@hotmail.com)

<sup>2</sup> İstanbul Okan Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0003-2627-0167), [burcu.ozcan@okan.edu.tr](mailto:burcu.ozcan@okan.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 03 Temmuz 2021 ve Kabul Tarihi 09 Eylül 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.962135)

**ATIF/REFERENCE:** Kırşan, M. & Ateş Özcan, B. (2021). Adölesanlarda Sağlık Okuryazarlığı ve Beslenme Okuryazarlığının Diyet Kalitesine Etkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (27), 532-538.

## Öz

Sağlık okuryazarlığı ve beslenme okuryazarlığı son zamanlarda gittikçe popüler hale gelirken, konu hakkında yeterli çalışma bulunmaması ilgili çalışmalara ihtiyaç duyulduğunu göstermektedir. Bu çalışma adölesanların sağlık okuryazarlığı ve beslenme okuryazarlığı düzeylerinin diyet kalitesine etkilerinin incelenmesi amacıyla yapılmıştır. Çalışma özel bir lisede 2020-2021 güz döneminde eğitim-öğrenim gören 15-19 yaş arası 70'i erkek, 158'i kız toplamda 228 adölesan ile yürütülmüştür. Katılımcılara anket formu, sağlık okuryazarlığı ölçeği (SOY-32), beslenme okuryazarlığı ölçeği (BOY) ve Akdeniz diyeti kalite indeksi (KIDMED) uygulanmıştır. Çalışmaya katılan öğrencilerin yaş ortalamaları  $16,23 \pm 1,09$  yıl, BKİ ortalamaları  $21,25 \pm 3,49$  kg/m<sup>2</sup>'dir. Katılımcıların ortalama SOY-32 puanı  $15,24 \pm 10,25$  puan (yetersiz düzey), ortalama BOY puanı  $60,88 \pm 18,53$  puan (orta düzey), ortalama KIDMED puanı  $6,6 \pm 2,17$  puandır (orta diyet kalitesi, diyetle iyileştirme gerekli). SOY-32 ile BOY puanları arasında zayıf derecede pozitif yönlü anlamlı ( $p < 0,001$ ), diyet kalitesi ile negatif yönlü ( $p > 0,05$ ), BOY ile diyet kalitesi arasında ise pozitif yönlü ( $p = 0,073$ ) ilişkiler saptanmıştır. Beslenme okuryazarlığı puanının 1 birim artması ile diyet kalitesi puanının 0,018 birim arttığı, SOY-32 puanının 1 birim artması ile diyet kalitesinin 0,012 puan azaldığı saptanmıştır. Öğrencilerin %38,6'sının beslenme ve sağlık bilgilerini edindiği kaynağın televizyon, radyo, internet olduğu, %27,2'sinin aile, arkadaş ve sadece %7,5'inin diyetisyen, %2,6'sının doktor ve sağlık çalışanı olduğu gözlenmiştir. Çalışmada adölesanların sağlık okuryazarlığı, beslenme okuryazarlığı ve diyet kalitesi düzeyleri ve etkileri beklenenin altındadır. Bunun sebebinin, öğrencilerin doğru bilgi kaynaklarına ulaşamamaları veya bilgiyi hayata geçirmede sıkıntı yaşamaları olabileceği düşünüldüğünden sağlık ve beslenme bilgilerinin doğru kaynaklar ile öğrencilere ulaştırılması ve bunlarla ilgili eğitimlerin öğrencilere verilmesi önerilmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Sağlık okuryazarlığı, Beslenme okuryazarlığı, Diyet kalitesi.

## The Effect of Health Literacy and Nutrition Literacy on Diet Quality in Adolescents

### Abstract

While health literacy and nutritional literacy have become increasingly popular recently, the lack of sufficient studies on the subject shows that there is a need for relevant studies. This study was conducted to examine the effects of adolescents' health literacy and nutritional literacy levels on diet quality. The study was conducted with a total of 228 adolescents, 70 boys and 158 girls, between the ages of 15-19, studying in a private high school in the fall semester of 2020-2021. A questionnaire, health literacy scale (HLS-32), nutritional literacy scale (NLSA) and Mediterranean diet quality index (KIDMED) were applied to the participants. The average age of the students participating in the study was  $16.23 \pm 1.09$  years, the average BMI was  $21.25 \pm 3.49$  kg/m<sup>2</sup>. The mean HLS-32 score of the participants was  $15.24 \pm 10.25$  points (unsatisfactory), the mean NLSA score was  $60.88 \pm 18.53$  points (intermediate level), the mean KIDMED score was  $6.6 \pm 2.17$  points (moderate diet quality, improvement in diet needed). There were weakly positive and significant ( $p < 0.001$ ) correlations between HLS-32 and NLSA scores, negative correlations with diet quality ( $p > 0.05$ ), and positive correlations between NLSA and diet quality ( $p = 0.073$ ). It was determined that with 1 unit increase in nutritional literacy score, diet quality score increased by 0.018 units, and with 1 unit increase in HLS-32 score, diet quality decreased by 0.012 points. It was

\* Sorumlu Yazar: [burcu.ozcan@okan.edu.tr](mailto:burcu.ozcan@okan.edu.tr)

determined that 38.6% of the students obtained their nutrition and health information from television, radio and internet, 27.2% obtained from family and friends, only 7.5% obtained from dietitians, 2.6% obtained from doctors and health professionals. In the study, the health literacy, nutritional literacy and diet quality levels and effects of the adolescents were lower than expected. Since it is thought that the reason for this may be that the students cannot reach the right information sources or have difficulties in implementing the information, it is recommended that the health and diet information be delivered to the students with the right resources and that related educations should be given to the students.

**Keywords:** Health literacy, Nutrition literacy, Diet quality.

## 1. Giriş

Sağlıklı bir toplumun temelinde sağlıklı beslenme ve yaşam tarzı yer almaktadır (Dima-Cozma ve ark., 2014; Carbone ve Zoellner, 2012). Özellikle genç yaşlarda sağlıklı beslenme ve fiziksel aktivite alışkanlıkları kazanmak önceliklidir. Bununla birlikte adölesanlarda sağlıklı beslenme alışkanlıkları ve davranışları sık gözlenebilmektedir (Rodrigues ve ark., 2017). Bu kapsamda adölesanların sağlıklı beslenme ile ilgili bilgilerinin yetersiz olduğunu gösteren çalışmalar mevcuttur (Naeeni ve ark., 2014; Saribay ve Kirbas, 2019). Ek olarak, adölesanların sağlık okuryazarlığı ve beslenme okuryazarlığı düzeylerinin de düşük ve yetersiz olduğu gözlenmiştir (Chang, 2011; Manganello, 2008). Oysaki insanların sağlık okuryazarlığı ve beslenme okuryazarlığı seviyelerinin artırılması sağlıklı bir toplumun oluşumuna katkı sağlayabilmektedir (Dima-Cozma ve ark., 2014; Carbone ve Zoellner, 2012).

Sağlık okuryazarlığı (SOY), bireylerin sağlıklı olma ve sağlığını korunması için sağlıkla ilgili bilgiye ulaşması, bilgiyi anlaması ve kullanma becerisi olarak tanımlanmıştır (Joulaei ve ark., 2018). Yaş, meslek, eğitim düzeyi, gelir düzeyi gibi demografik verilere kıyasla sağlık okuryazarlığının sağlık açısından önemli bir parametre olduğu düşünülmektedir (Dima-Cozma ve ark., 2014). SOY düzeyinin düşük olması, bireylerin tanı ve tedavileri üzerinde olumsuz etkiler göstererek hastane yatışlarının uzamasına sebep olabilmektedir (Berkman ve ark., 2011). Beslenme okuryazarlığı (BOY) ise bireylerin beslenme bilimindeki bilgilere erişme, bu bilgileri benimseme ve yorumlama, ardından konu ile ilgili doğru seçimler yapabilme yeteneği kazanma, önerilen şekilde porsiyon seçimi sağlama ve sağlıklı besin seçimi ve tüketimi, sağlıklı beslenmeyi öğrenme ve sürdürme, diyet kalitesinin artırılması ve sürekliliği, besin sistemlerinin işleyişini anlayıp değerlendirme ve besin güvencesinin sağlanması, sürdürülmesi açısından önemli ve gerekli olan, bilgi, beceri, istek, karar alma ve verme, tutum davranış ve yeteneklerinin olmasıdır (Vidgen ve Gallegos, 2014; Kolasa ve ark., 2001). Sağlıklı beslenme ve sağlık alışkanlıklarının önemini anlaşılması ileride yaşanabilecek sağlık problemlerinin ve global sağlık sorunlarının önlenmesi açısından önemlidir (Mansfield ve ark., 2020). Bu açıdan elde edilen veriler, daha sağlıklı beslenmek ve beslenme alışkanlıkları kazanmak açısından beslenme okuryazarlığının artırılmasının önemli olduğunu vurgulamaktadır (Carbone ve Gibbs, 2013).

Sağlık okuryazarlığı çalışmaları yiyecek ve beslenmeye odaklanmıyor olsa da beslenme okuryazarlığı ve sağlık okuryazarlığı iç içedir (Carbone ve Zoellner, 2012; Silk ve ark., 2008). Yapılan bir çalışmada düşük sağlık okuryazarlığı, düşük diyet kalitesi ile ilişkili bulunmuştur (Kuczmarski ve ark., 2016). Beslenme okuryazarlığı ve diyet kalitesinin karşılaştırıldığı başka bir çalışmada ise artan beslenme okuryazarlığı daha az şeker tüketimi, daha fazla süt ürünü tüketimi ve daha iyi bir enerji dengesi ile ilişkili bulunmuştur (Joulaei ve ark., 2018).

Tüm bu sonuçlar SOY ve BOY'un önemini vurgularken birbirleri arasındaki ilişki ve diyet kalitesi üzerine etkilerinin belirlendiği çalışmalar bildiğimiz kadarıyla bulunmamaktadır. Bu çalışmada da SOY ve BOY arasındaki ilişki ve her ikisinin diyet kalitesi üzerindeki etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Katılımcılar ve Prosedür

Kesitsel-tanımlayıcı tipteki bu çalışma 228 adölesan ile tamamlanmıştır. Çalışmanın yürütülmesi için ilgili okul yönetiminden yazılı onay alındıktan sonra İstanbul Okan Üniversitesi Girişimsel Olmayan Klinik Araştırmalar Etik Kurulu'ndan 07.10.2020 tarih ve 2 karar numaralı etik kurul onayı alınmıştır. Çalışmaya katılmayı kabul eden öğrencilerin ailelerine "Veliler İçin Gönüllü Onam Formu", kendilerine "Öğrenci Gönüllü Onam Formu" okutulup imzalatılmıştır. Çalışmanın verileri, etik kurul onayını takiben 1 aylık süre içerisinde online anket olarak toplanmıştır. Mevcut COVID-19 Pandemisi sürecinden ötürü Milli Eğitim Bakanlığı tarafından eğitimin online devam etmesine karar verilmesi sebebi ile veriler online ortamda toplanmıştır.

### 2.2. Veri Toplama Araçları

Katılımcılara antropometrik ölçümleri ve kişisel bilgilerinin sorgulandığı bir anket formu, SOY'un belirlenmesinde "Türkiye Sağlık Okuryazarlığı Ölçeği-32" (TSOY-32), BOY'un belirlenmesinde "Adölesan Beslenme Okuryazarlığı Ölçeği" (Nutrition Literacy Status of Adolescent Students, BOY), diyet kalitesinin belirlenmesinde "Akdeniz Diyeti Kalite İndeksi"nden (KIDMED) faydalanılmıştır. TSOY-32, Okyay ve arkadaşları (Okyan ve Abacıgil, 2016) tarafından 2016 yılında Avrupa Sağlık Okuryazarlığı Çalışması (Health Literacy Europe, HLS-EU) baz alınarak geliştirilen bir ölçektir. Geçerlilik ve güvenilirliği Sağlık Bakanlığı tarafından test edilmiş ve onaylanmıştır (Cronbach Alfa katsayısı: 0.927). En düşük 0, en yüksek 50 puan alınabilen ölçeğin puanları arttıkça sağlık okuryazarlığı da artmaktadır. Ölçekten elde edilen puan 0- 25 arası ise bireylerde "yetersiz düzeyde", 26- 33 arası ise "sorunlu (sınırlı) düzeyde", 34- 42 arası ise "yeterli düzeyde", 43- 50 arası ise "mükemmel düzeyde" sağlık okuryazarlığı olduğu görülmektedir (Okyan ve Abacıgil, 2016). BOY, 2012 yılında Bari (Bari, 2012) tarafından geliştirilmiş olup Türkçe validasyon çalışmasını 2017 yılında Türkmen ve ark. (Türkmen ve ark., 2017) gerçekleştirmiştir (Cronbach Alfa katsayısı: 0.80). Üç alt boyutu olan ölçek toplamda 22 maddeden oluşmaktadır ve herhangi bir kesme noktası bulunmamaktadır. Ölçekten minimum 22 puan, maksimum 110 puan alınmakta olup toplam puan arttıkça beslenme okuryazarlığı da artmaktadır (Türkmen ve ark., 2017). Serra-Majem ve ark. (Serra-Majem ve ark., 2004) 16 sorudan meydana gelen KIDMED'i geliştirmiştir. Ölçekten minimum sıfır puan, maksimum 12 puan alınmaktadır. Sekiz ve üstü puan alımı diyet kalitesinin optimal düzeyde olduğunu, 4- 7 puan alımı diyet kalitesinin orta düzeyde (diyetle iyileştirme

gerekli olduğunu, 3 ve altı puan alımı ise diyet kalitesinin çok düşük olduğunu göstermektedir.

### 2.3. İstatistiksel Analiz

Verilerin analizi için SPSS 21 programı kullanılmıştır. Tanımlayıcı istatistikler minimum ve maksimum, ortalama ve standart sapma ile ifade edilmiştir. Sürekli değişkenlerin normal dağılıma uygunluğu Shapiro Wilk testi ile kontrol edilmiştir. Normal dağılım gösteren değişkenlerde, iki grup ortalamasının karşılaştırılmasında Student's t test kullanılmıştır. İki gruptan fazla grup ortalamasının karşılaştırılmasında ise Tek Yönlü Varyans Analizi, post hoc testlerden ise Tukey kullanılmıştır. Normal dağılmayan değişkenlerde ortalamaların karşılaştırılmasında Mann Whitney U testi kullanılmıştır. Sürekli değişkenler arasında doğrusal ilişki incelenmesinde, normal dağılım gösteren veriler için Pearson Korelasyon, normal dağılmayan veriler için ise Spearman Rho katsayıları hesaplanmıştır. Diyet kalitesini etkileyen faktörler Tek değişkenli analizler ile belirlenmiş olup Çoklu Doğrusal Regresyon modeli kurulmuştur. Açıklayıcılık katsayısı (R<sup>2</sup>) ve Beta katsayılarıyla, oluşan modelin sonuçları ifade edilmiştir. Ki-Kare testi kategorik değişkenlerin analizinde kullanılmıştır. İstatistik anlamlılık düzeyi 0.05 alınmıştır.

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Çalışmada SOY ve BOY düzeyleri ile aralarındaki ilişkinin saptanması ve bunların diyet kalitesine etkisinin belirlenmesi

amaçlanmıştır. Çalışma, özel bir lisede 2020-2021 güz döneminde eğitim-öğrenim gören 15-19 yaş arası 70'i erkek, 158'i kız toplamda 228 adölesan ile yürütülmüştür.

Çalışmaya katılan öğrencilerin yaş ortalamaları  $16.23 \pm 1.09$  yıl, BKİ ortalamaları  $21.25 \pm 3.49$  kg/m<sup>2</sup>'dir (BKİ<sub>erkek</sub>:  $22.7 \pm 4.33$  BKİ<sub>kız</sub>:  $20.62 \pm 2.83$ ,  $p < 0.001$ ). Kız öğrencilerin çoğunluğu (%44.3) BKİ değerlendirmesine göre zayıf, %29.7'si normal, %14.6'sı çok zayıf, %9.5'i hafif kilolu ve %1.9'u obez iken erkek öğrencilerin çoğunluğu (%31.4) hafif kilolu, %8.6'sı obez, %21.4'ü normal, %27.1'i zayıf ve %11.4'ü çok zayıftır ( $p < 0.001$ ) (tabloda verilmemiştir).

Adölesanların sosyodemografik ve genel özelliklerine göre dağılımı tablo 1'de verilmiştir. Katılımcıların %30.7'si erkek, %69.3'ü kızdır. Adölesanların beslenme, diyet ve sağlık bilgilerini aldıkları kaynaklara göre %38.6'nın kaynağı TV, radyo, internet, %27.2'sinin aile ve arkadaş, %7.5'inin diyetisyen ve %2.6'sı doktor ve sağlık çalışanıdır (Tablo 1). Yapılan bir çalışmada, beslenme bilgisini sağlık çalışanlarından edinen 18-25 yaş arası bireylerin daha yüksek beslenme bilgisi edindiği görülmüştür (Quaidoo ve ark., 2018). Beslenme bilgisi ise sağlık okuryazarlığının ayrılmaz bir ögesidir ve düşük sağlık okuryazarlığının kötü sağlık sonuçları oluşturduğu belirtilmektedir (Spronk ve ark., 2014). Bu çalışmada da bilgi kaynağına göre SOY, BOY ve KIDMED puanları incelendiğinde

Tablo 1. Öğrencilerin sosyodemografik ve genel özellikleri

		N: 228	Yüzde (%)
Cinsiyet	Kız	158	69.3
	Erkek	70	30.7
Öğrencilerin annelerinin eğitim düzeyi	Okur-yazar	3	1.3
	İlkokul mezunu	78	34.2
	Ortaokul mezunu	43	18.9
	Lise mezunu	63	27.6
	Lisans mezunu	37	16.2
	Lisansüstü (yüksek lisans, doktora) mezunu	4	1.8
Eğitim düzeyi	Okur-yazar	4	1.8
	İlkokul mezunu	57	25.0
	Ortaokul mezunu	41	18.0
	Lise mezunu	63	27.6
	Lisans mezunu	54	23.7
	Lisansüstü (yüksek lisans, doktora) mezunu	9	3.9
Öğrencilerin annelerinin mesleği	İşçi	26	11.4
	Memur	20	8.8
	Esnaf	1	0.4
	Emekli	2	0.9
	Çalışmıyor, ev hanımı	159	69.7
	Hayatta değil	20	8.8
Öğrencilerin babalarının mesleği	İşçi	50	21.9
	Memur	21	9.2
	Esnaf	50	21.9
	Çiftçi	3	1.3
	Emekli	8	3.5
	Çalışmıyor, ev hanımı	4	1.8
	Hayatta değil	92	40.4
Öğrencilerin beslenme ve sağlık bilgilerini edindikleri kaynaklar	Kitap, kütüphane	16	7.0
	Aile, arkadaşlar	62	27.2
	Radyo, televizyon, internet	88	38.6
	Diyetisyen	17	7.5
	Doktor, sağlık çalışanı	6	2.6
	Alternatif tıpla uğraşanlar	29	12.7
	Gazete	10	4.4
Sigara kullanım durumu	Kullanıyor	19	8.3
	Kullanmıyor	209	91.7

en yüksek puanlar, bilgi kaynağı diyetisyen olanlarda gözlenmiştir. Bu fark BOY grubunda istatistiksel olarak önemlidir ( $p<0.001$ ) (Tablo 3). Ancak bu bilgiyi diyetisyenden edinme oranının (%7.5) düşüklüğü göz önünde bulundurulduğunda, öğrencilerin doğru bilgiye doğru kaynaktan ulaşabilmesi açısından yönlendirilmesi önerilmektedir. Ek olarak, internette çok miktarda bilimsel ve bilimsel olmayan bilgi, taraflı reklam ve haber bulunmaktadır. Ancak gençlerin neredeyse hiç bilimsel verilere başvurmadığı bilinmektedir. Bu doğrultuda, adölesanların geçerli bilgilere nasıl ve nereden ulaşabilecekleri konusunda eğitilmeleri önemlidir (Joulai ve ark., 2018).

Katılımcıların ortalama SOY-32 puanı  $15.24 \pm 10.25$  puan (yetersiz düzey) olup erkeklerin puan ortalaması kız öğrencilerden daha yüksektir ( $p<0.05$ ). Öğrencilerin

çoğunluğunun (%89) SOY'u yetersiz iken %6.1'inin sorunlu, %2.6'nın yeterli, %2.2'sinin mükemmeldir (Tablo 2). Sağlık okuryazarlıkları seviyelerinin belirlenmesi amacıyla 870 öğrenci ile yürütülmüş bir çalışmada, öğrencilerin %62.8'inin SOY düzeyinin yeterli ve mükemmel düzeyde olduğu saptanmış olup SOY düzeylerinin erkeklere kıyasla kadınlarda daha yüksek olduğu bulunmuştur (Malatyali ve Biçer, 2018). Adölesanlarda SOY ile riskli sağlık davranışlarının incelendiği bir başka çalışmada ise öğrencilerin SOY-32 puan ortalaması  $34.35 \pm 8.70$  puan bulunmuştur. Çalışmada kızların SOY-32 puan ortalamasının erkeklere kıyasla daha yüksek olduğu görülmüştür ( $p= 0.018$ ). Çalışmaya göre sağlık okuryazarlığı puanlarının düşüklüğü adölesanlarda görülen riskli sağlık davranışlardan ileri geldiğini göstermektedir. Bu davranışları azaltmak için sağlık okuryazarlık seviyelerini yükseltecek uygulamaların yapılması önerilmiştir (Koçak ve Demir, 2019).

Tablo 2. Öğrencilerin SOY, BOY ve KİDMED puan ortalamaları ve dağılımları

	Erkek (n:70)		Kız (n:158)		Toplam (n:228)		P
	Ort±SS	Alt- Üst	Ort±SS	Alt- Üst	Ort±SS	Alt- Üst	
<b>SOY puanı</b>	17.29±11.29	0.52-50	14.33±9.64	0-43.23	15.24±10.25	0-50	<b>0.044*</b>
<b>BOY puanı</b>	56.87±17.93	22-102	62.65±18.57	22-110	60.88±18.53	22-110	<b>0.029*</b>
<b>KİDMED puanı</b>	6.59±2.06	3-12	6.61±2.23	1-12	6.6±2.17	1-12	0.944
	<b>n</b>	<b>%</b>	<b>n</b>	<b>%</b>	<b>n</b>	<b>%</b>	
<b>SOY sınıflaması</b>							
Yetersiz	58	82.9	145	91.8	203	89.0	0.061
Sorunlu	5	7.1	9	5.7	14	6.1	
Yeterli	3	4.3	3	1.9	6	2.6	
Mükemmel	4	5.7	1	0.6	5	2.2	
<b>KİDMED sınıflaması</b>							
Çok düşük diyet kalitesi	4	5.7	13	8.2	17	7.5	0.705
Diyete müdahale gerekli	46	65.7	96	60.8	142	62.3	
Optimal diyet	20	28.6	49	31.0	69	30.3	

SOY: sağlık okuryazarlığı, BOY: beslenme okuryazarlığı, \*  $p<0.05$

Literatürde adölesanların beslenme okuryazarlığı düzeylerine yönelik sınırlı çalışma bulunmaktadır. Sağlık okuryazarlığı ve beslenme okuryazarlığı pek çok konuda örtüşebilmektedir. Dolayısı ile yapılan çalışmalarda sıklıkla sağlık okuryazarlığı ile ilgili incelemeler göz önünde bulundurulmuştur (Silk ve ark., 2008). Ancak, literatürde SOY düzeylerinin belirlenmesinde kullanılan ölçeklerin BOY düzeylerinin saptanmasında yeterli olmayacağı kanısı yer almaktadır (Gibbs HD ve Chapman-Novakofski, 2012). Bu çalışmada SOY-32 ile BOY puanları arasında zayıf derecede pozitif yönlü anlamlı ( $p<0.001$ ) bir ilişki saptanmıştır (Tablo 4). Adölesanların beslenme okuryazarlığının belirlendiği bir çalışmada beslenme okuryazarlığı orta düzeyde bulunmuş, kızlarda BOY ortalama puanının daha yüksek olduğu tespit edilmiştir ( $p=0.02$ ). (Bari, 2012). Bu çalışmada da katılımcıların ortalama ortalama BOY puanı  $60.88 \pm 18.53$  puan (orta düzey) olup kızların puanı erkeklerden daha yüksektir ( $p= 0.029$ ) (Tablo 2). Adölesanlar ve genç yetişkinler arasında BOY durumunu ve bunun diyet alımının niceliği ve kalitesi ile ilişkisini incelemek, bu yaş gruplarında beslenme sağlığını geliştirmede önemli stratejilerin benimsenmesinde faydalı olabilmektedir (Joulai ve ark., 2018).

Akdeniz Tipi Beslenme, yeterli ve dengeli beslenme açısından global olarak önerilen, en iyi ve dengeli beslenme modellerinden biridir. Akdeniz tipi beslenme, özellikle kardiyovasküler hastalıkların diğer ülkelere kıyasla Akdeniz ülkelerinde daha düşük sıklıkta görülmesinin fark edilmesi ile iyice ön plana çıkmıştır (Bayındır Gümüş ve Yardımcı, 2020). Bu doğrultuda KİDMED, sağlıklı beslenmenin bir parametresi olarak kullanılan geçerli ve uygulaması kolay bir yöntemdir (Serra-Majem ve ark., 2004). Bu çalışmada öğrencilerin KİDMED ortalama değeri  $6.6 \pm 2.17$  puandır (orta düzey diyet kalitesi, diyetle iyileştirmenin gerekli olduğu düzey). Öğrencilerin %30.3'ünün optimal diyet kalitesi düzeyine, %62.3'ünün orta diyet kalitesi düzeyine, %7.5'inin çok düşük diyet kalitesi düzeyine sahip oldukları bulunmuştur.

On dört, on sekiz yaş arası 550 adölesanda diyet kalitesini etkileyen faktörlerin incelendiği bir çalışmada ortalama diyet kalitesi  $5.12 \pm 2.40$  puan bulunmuştur. Çalışmada adölesanların BKİ ile KİDMED puanları arasında pozitif yönlü anlamlı ilişkiler saptanmıştır (Ateş Özcan ve ark., 2020). Yapılan çalışmalarda beslenme temelli SOY'un yağ alımı ve sağlıksız beslenme ile negatif ilişkili olduğu bulunmuştur (Smith, 2009; Vaitkeviciute ve ark., 2015). Adölesanlarda BOY ve diyet

kalitesinin ilişkisinin araştırıldığı başka bir çalışmada ise BOY ve diyet kalitesinin istatistiksel olarak anlamlı şekilde ilişkili olduğu bulunmuştur (Joulaei ve ark., 2018). Bu çalışmada ise BOY ile diyet kalitesi arasında pozitif yönlü anlamsız ( $p= 0.073$ )

ilişkiler saptanmıştır (Tablo 4). Ek olarak beslenme okuryazarlığı puanının 1 birim artması ile diyet kalitesi puanının 0.018 birim arttığı, SOY-32 puanının 1 birim artması ile diyet kalitesinin 0.012 puan azaldığı saptanmıştır (Tablo 5).

Tablo 3. Öğrencilerin sağlık, beslenme ve diyet ile ilgili bilgileri edinme kaynaklarına göre SOY, BOY ve KİDMED puan ortalama değerleri

	Edinilen bilginin kaynağı	Ort±SS	Alt- Üst	p
SOY puanı	Kütüphane, kitap	9.04±7.9	0.52-21.88	0.161
	Aile, arkadaşlar	15.92±11.68	0.52-50	
	Radyo, televizyon, internet	16.00±10.24	0-48.48	
	Diyetisyen	17.67±8.91	1.04-31.72	
	Doktor, sağlık çalışanı	15.63±12.4	0-28.65	
	Alternatif tıpla uğraşanlar	14.82±8.17	2.08-29.76	
	Gazete	11.18±7.96	0-22	
BOY puanı	Kitap, kütüphane	49.5±22.04	22-80	<0.001*
	Aile, arkadaşlar	54.9±20.25	22-102	
	Radyo, televizyon, internet	66.19±14.94	27-110	
	Diyetisyen	66.45±16	30-103	
	Doktor, sağlık çalışanı	64.12±18.43	33-88	
	Alternatif tıpla uğraşanlar	44.17±1.17	42-45	
	Gazete	57.7±21.01	27-95	
KİDMED puanı	Kitap, kütüphane	5.69±1.78	4-10	0.204
	Aile, arkadaşlar	6.66±2.04	1-12	
	Radyo, televizyon, internet	6.5±2.1	2-11	
	Diyetisyen	7.28±2.02	1-12	
	Doktor, sağlık çalışanı	7.59±2.21	3-11	
	Alternatif tıpla uğraşanlar	5.83±4.4	3-12	
	Gazete	5.4±2.01	3-10	

p: Tek Yönlü Varyans Analizi, SOY: sağlık okuryazarlığı, BOY: beslenme okuryazarlığı, \*  $p<0.001$

Tablo 4. Öğrencilerin SOY, BOY ve KİDMED puanlarının bazı değerler ile ilişkisi

		SOY	BOY	KİDMED
Yaş	r	-0.029	0.083	<b>-0.150</b>
	p	0.666	0.214	<b>0.024*</b>
BKİ (kg/m <sup>2</sup> )	r	0.077	0.032	-0.072
	p	0.248	0.632	0.281
Günlük ana öğün sayısı*	r	-0.074	<b>-0.185</b>	<b>0.204</b>
	p	0.265	<b>0.005*</b>	<b>0.002*</b>
Günlük ara öğün sayısı*	r	-0.018	0.116	<b>0.231</b>
	p	0.790	0.080	<b>&lt;0.001**</b>
Toplam öğün sayısı*	r	-0.063	-0.012	<b>0.259</b>
	p	0.343	0.861	<b>&lt;0.001**</b>
BOY	r	<b>0.235</b>	-	0.119
	p	<b>&lt;0.001**</b>	-	0.073
SOY	r	-	<b>0.235</b>	-0.079
	p	-	<b>&lt;0.001**</b>	0.237

SOY: sağlık okuryazarlığı, BOY: beslenme okuryazarlığı, BKİ: beden kütle indeksi, \*  $p< 0.05$ , \*\*  $p< 0.001$

Tablo 5. Diyet kalitesini etkileyen faktörler

	Standardize olmayan		Satandardize	t	p
	B	Std. hata	Beta		
Sabit	3.909	0.675		5.794	<0.001**
Toplam öğün sayısı	0.369	0.108	0.217	3.401	0.001*
Düzenli olarak fiziksel aktivite yapma	0.713	0.291	0.164	2.445	0.015*
SOY	-0.012	0.014	-0.056	-0.826	0.410
BOY	0.018	0.008	0.149	2.291	0.023*

R<sup>2</sup>:0,104; SOY: sağlık okuryazarlığı, BOY: beslenme okuryazarlığı, \* p< 0.05, \*\* p< 0.001

#### 4. Sonuç

Sağlık okuryazarlığı ve beslenme okuryazarlığı, global olarak gelişmekte olan önemli ve güncel konulardan birisi olup önemi ülkemizde de gittikçe artmaktadır. Gelişmiş ülkelere benzer olarak, sağlık okuryazarlığına ilişkin verileri ülkemizde de açığa çıkaran ve sağlık okuryazarlığını etkileyen faktörleri belirten çalışmalar yürütülmektedir (Berberoğlu ve ark., 2018; Şahinöz ve ark., 2018). Bu çalışmada da adölesanlarda SOY ve BOY düzeyleri ile aralarındaki ilişki saptanmış olup, bunların diyet kalitesine etkisi belirlenmiştir.

Sağlıklı beslenme, sağlıklı bir hayat ve sağlık hizmetlerinin daha etkili şekilde kullanılabilmesi amacıyla bireylerin BOY ve SOY düzeylerinin artırılması önemli ve gereklidir. Bu kapsamda toplumsal boyutta kampanyaların düzenlenmesi, broşürlerin dağıtılmasının ve televizyonlarda eğitici kamu spotlarına yer verilmesinin etkili olabileceği düşünülmektedir. Bu uygulamalarda eğitimcilerin alanında uzman sağlık profesyonelleri ve diyetisyenlerden oluşması önemlidir. SOY ve BOY'ü etkileyen temel faktörlerin bir tanesi de hem adölesanların hem de ailelerin eğitim durumudur. Bu kapsamda, sağlık ve sağlıklı beslenme derslerinin adölesanların derslerine entegre edilmesi, öğrencilere beslenme önerileri ve takibi yapabilecek bir diyetisyenin düzenli olarak okulda faal olması, ailelerin düzenli aralıklarda düzenlenecek eğitimlere katılmalarının sağlanması, yazılı basın ve medyanın doğru kaynaklar ile sağlık ve beslenme yönlendirmeleri yapması, doğru ve etkili internet kullanıcılığı hakkında adölesanların yönlendirilmesi vb. uygulamalar ile SOY ve BOY'un ve dolayısıyla ile sağlığın geliştirilmesinin sağlanabileceği düşünülmektedir. Liteatürde SOY ve BOY ile ilgili araştırmaların eksikliği söz konusudur. Bu çalışmanın sonuçları doğrultusunda, BOY ve SOY'un bir arada değerlendirilmesinin önemi vurgulanmış ve BOY'un SOY'a entegre edileceği çalışmalara ışık tutulmuş olduğuna inanılmaktadır. Özellikle adölesanların SOY ve BOY düzeylerinin belirlenmesi hakkında yapılacak bilimsel çalışmalar artırılmalıdır.

#### Kaynakça

- Ateş Özcan, B., Yeşilkaya, B., Yıldız, N., & Pehlivan, M. (2020). Factors affecting quality in adolescents: the effect of sociodemographic characteristics and meal consumption. *Progress in Nutrition*, 22 (4), e2020094.
- Bari, N.N. (2012). Nutrition literacy status of adolescent students in Kambala district, Uganda. Oslo and Akershus University College of Applied Sciences. Department of Sciences, Nutrition and Management. Master's Programme in Food, Nutrition and Sciences.

- Bayındır Gümüş, A., & Yardımcı, H. (2020). Üniversite öğrencilerinin günlük besin ögesi alımlarının Akdeniz diyeti kalite indeksi (KİDMED) ile ilişkisi. *Adıyaman Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi*, 6(2),167-173.
- Berberoğlu, U., Öztürk, O., İnci, M.B., & Ekerbiçer, H.Ç. (2018). Bir aile sağlığı merkezine kayıtlı 18-65 yaş grubu bireylerdeki sağlık okuryazarlığı durumunun değerlendirilmesi. *Sakarya Tıp Dergisi*, 8(3), 575-581
- Berkman, N.D., Sheridan, S.L., Donahue, K.E., Halpern, D.J., & Crotty, K. (2011). Low health literacy and health outcomes: an updated systematic review. *Ann Intern Med*, 155(2), 97-107.
- Carbone, E.T., & Gibbs, H.D. (2013). Measuring nutrition literacy: Problems and potential solutions. *J Nutr Disorders Ther*, 3(1).
- Carbone, E.T., & Zoellner, J.M. (2012). Nutrition and health literacy: a systematic review to inform nutrition research and practice. *J Acad Nutr Diet*, 112(2), 254-265.
- Chang, L.C. (2011). Health literacy, self-reported status and health promoting behaviours for adolescents in Taiwan. *Journal of Clinical Nursing*, 20(1-2), 190-196.
- Dima-Cozma, C., Gavrilută, C., Mitrea, G., & Cojocaru, D. C. (2014). The importance of healthy lifestyle in modern society: a medical, social and spiritual perspective. *Eur J Sci Theol*, 10(3), 111-120.
- Gibbs, H.D., & Chapman-Novakofski, K. (2012). Exploring nutrition literacy: Attention to assessment and the skills clients need. *Health*, 4 (3), 120-124.
- Joulaei, H., Keshani, P., & Kaveh, M.H. (2018). Nutrition literacy as a determinant for diet quality amongst young adolescents: a cross sectional study. *Progress in Nutrition*, 20(3), 455-464.
- Koçak, K., & Saltuk Demir, L. (2019). Adölesanlarda sağlık okuryazarlığı ile riskli sağlık davranışları arasındaki ilişki, 3. International 21. National Public Health Congress.
- Kolasa, K.M., Peery, A., Harris, & Shovelin, K. (2001). Food literacy partners program: a strategy to increase community food literacy. *Topics in Clinical Nutrition*, 16 (4), 1-10.
- Kuczmarski, M.F., Adams, E.L., Cotugna, N., Pohlig, R.T., Beydoun, M.A., Zonderman, A.B., & Evans, M.K. (2016). Health literacy and education predict nutrient quality of diet of socioeconomically diverse, urban adults. *Journal of Epidemiology and Preventive Medicine*, 2(1).
- Malatyalı İ., & Biçer E. (2018). Sağlık okuryazarlığı düzeyinin belirlenmesi: sivas cumhuriyet üniversitesi örneği, *ASHD*; 17(2), 16-27.
- Manganello, J.A. (2008). Health literacy and adolescents: a framework and agenda for future research. *Health Educ Res*, 23(5), 840-847.
- Mansfield, E., Wahba, R., & De Grandpré, E. (2020). Integrating

- a health literacy lens into nutrition labelling policy in Canada. *Int J Env Res Pub He*, 17(11), 4130.
- Naeni, M.M., Jafari, S., Fouladgar, M., Heidari, K., Farajzadegan, Z., Fakhri, M., et al. (2014). Nutritional knowledge, practice, and dietary habits among school children and adolescents. *Int J Prev Med*, 5(Suppl 2), S171.
- Okyay P., & Abacıgil F. (2016). Türkiye sağlık okuryazarlığı ölçekleri güvenilirlik ve geçerlilik çalışması, *Anıl Matbaa*. 1. Baskı. Ankara 2016; 43-60.
- Quaidoo, E.Y., Ohemeng, A., & Amankwah-Poku, M. (2018). Sources of nutrition information and level of nutrition knowledge among young adults in the Accra metropolis. *BMC Public Health*, 18(1), 1-7.
- Rodrigues, P.R.M., Luiz, R.R., Monteiro, L.S., Ferreira, M.G., Gonçalves-Silva, R.M.V., & Pereira, R.A. (2017). Adolescents' unhealthy eating habits are associated with meal skipping. *Nutrition*, 42, 114-120.
- Sarıbay, A.K., & Kirbas, S. (2019). Determination of nutrition knowledge of adolescents engaged in sports. *Univers J Educ Res*, 7(1), 40-47.
- Serra-Majem, L., Ribas, L., Ngo, J., Ortega, R.M., Garcia, A., Perez-Rodrigo, C. et al. (2004). Food, youth and the mediterranean diet in Spain. Development of KIDMED, mediterranean diet quality index in children and adolescents. *Public Health Nutr*, 7(7), 931-935.
- Silk, K.J., Sherry, J., Winn, B., Keesecker, N., Horodyski, M.A., & Sayir, A. (2008). Increasing nutrition literacy: testing the effectiveness of print, web site, and game modalities. *J Nutr Educ Behav*, 40(1), 3-10.
- Smith, M.L. (2009). Health literacy and weight-related behaviors among college students. University of Missouri-Kansas City, College of Arts & Sciences, Department of Psychology, PhD thesis.
- Spronk, I., Kullen, C., Burdon, C., & O'Connor, H. (2014). Relationship between nutrition knowledge and dietary intake. *Br J Nutr*, 111(10), 1713-1726.
- Şahinöz T. ve ark. (2018). Üniversite son sınıf öğrencilerinin sağlık okuryazarlığı düzeyleri üzerine karşılaştırmalı bir araştırma, *GÜSBĐ*, 7(3), 71- 79.
- Sonay Türkmen, A., Kalkan, İ., & Filiz, E. (2017). Adölesan beslenme okuryazarlığı ölçeğinin türkçe'ye uyarlanması: geçerlilik ve güvenilirlik çalışması. *DBHAD*, (10), 1-16.
- Vaitkeviciute, R., Ball, L.E., & Harris, N. (2015). The relationship between food literacy and dietary intake in adolescents: a systematic review. *Public Health Nutrition*, 18(4), 649-658.
- Vidgen, H.A., & Gallegos, D. (2014). Defining food literacy and its components. *Appetite*, 76(1), 50-5.



# Otonom Araçlar İçin Optimizasyon Tabanlı Yanal ve Doğrusal Yörünge Planlama

İlhan Mutlu<sup>1\*</sup>,

<sup>1\*</sup> IAV GmbH, Akıllı Sürüş Fonksiyonları Departmanı, Chemnitz, Almanya, (ORCID: 0000-0001-8995-6671), [ilhanmutlu86@gmail.com](mailto:ilhanmutlu86@gmail.com)

(İlk Geliş Tarihi 5 Mayıs 2021 ve Kabul Tarihi 20 Eylül 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.932390)

**ATIF/REFERENCE:** Mutlu, İ. (2021). Otonom Araçlar İçin Optimizasyon Tabanlı Yanal ve Doğrusal Yörünge Planlama. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (27), 539-548.

## Öz

Son yıllarda, teknolojik gelişmelerin de katkısıyla, otonom araçlar önemli bir ilgi odağı haline gelmiştir. Bu tarz karmaşık sistemlerde istenen performansın elde edilebilmesi için birçok alt problemin etkili bir şekilde çözülmüş olması gerekmektedir. Bu alt problemler detaylı olarak incelendiğinde hareket ve yörünge planlamasının çok önemli ve kritik bir yer tuttuğu görülebilir. Bu çalışma kapsamında, yörünge planlama problemi Frenet koordinat düzleminde ele alınmış ve otonom sürüş sistemleri için optimizasyon tabanlı ve etkili bir yörünge planlama yaklaşımı önerilmiştir. Önerilen yöntem temelinde bir optimizasyon probleminin analitik çözümünün çevrim dışı aşamada elde edilmesine dayanmaktadır. Böylece, gerçek zamanlı uygulama sırasında ilgili yörünge katsayılarının belirlenmesi için bir doğrusal denklem takımını çözmek yeterli hale gelmektedir. Karşılaşılan pratik sorunlar ve çözüm önerileri de yine bu çalışma kapsamında ele alınmıştır. Önerilen yöntemin etkinliği “Automotive Data and Time-Triggered Framework (ADTF)” ortamında gerçekleştirilen gerçek zamanlı benzetimlerle gösterilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Otonom araçlar, otonom sürüş, hareket planlama, yörünge planlama.

## Optimization Based Lateral and Longitudinal Trajectory Planning for Autonomous Vehicles

### Abstract

In recent years, autonomous vehicles have gained significant attention with the help of technological developments. To fulfill the desired performance expectations, various sub-problems have to be solved efficiently in such complex systems. When these sub-problems are examined in detail, it can be seen that the motion and trajectory planning play a crucial role. Within the scope of this study, the trajectory planning problem was handled in the Frenet coordinate frame and an efficient optimization-based trajectory planning approach was proposed for autonomous driving. The proposed method was essentially based on the analytical solution of an optimization problem which was derived in the offline phase. In the real-time application, only the corresponding trajectory coefficients should be determined by solving a linear set of equations. Encountered practical problems and solution recommendations were also discussed in this study. The effectiveness of the proposed method was demonstrated via real-time simulations that were realized in the “Automotive Data and Time-Triggered Framework (ADTF)” framework.

**Keywords:** Autonomous vehicles, automated driving, motion planning, trajectory planning.

\* Sorumlu Yazar: [ilhanmutlu86@gmail.com](mailto:ilhanmutlu86@gmail.com)



## 1. Giriş

Günümüzde karayolu taşımacılığı ulaşımda çok önemli bir yer tutmaktadır. Avrupa Birliği verilerine göre 2014 yılında kat edilen toplam mesafenin %83'ü otomobillerle gerçekleştirilmiştir (Heinrich, 2018). Bu yoğun kullanım karayolundaki güvenliğin artırılması gereksinimini de beraberinde getirmektedir. Dünya Sağlık Örgütü 2013 yılında karayollarında gerçekleşen kazalarda toplam 1.25 milyon ölüm rapor etmiştir (World Health Organization, 2015). Bu kazaların önemli bir bölümünün insan hatası kaynaklı meydana geldiği düşünülürse karayollarındaki trafiği daha güvenli hale getirecek etkin otonom sürüş ve aktif sürücü destek sistemlerinin geliştirilmesinin ne kadar önemli olduğu ortaya çıkar. Bu nedenle, otonom araçlar son yıllardaki teknolojik gelişmelerin de etkisiyle önemli bir araştırma alanı haline gelmiştir. İyi tasarlandığında bu tarz sistemlerin insan hayatını kolaylaştırıcı yönde önemli etkilerinin olacağına ve genel güvenlik seviyesini arttırdığına da birçok çalışmada yer verilmiştir (Eugensson ve diğerleri, 2014) , (Kalra ve Paddock, 2016).

Yukarıda kısaca bahsedilen avantajlarından dolayı günümüzde birçok üretici, mühendislik firması ve araştırma kuruluşu bu alana yatırım yapmaktadır. Ancak, otonom araçlar ve otonom sürüş sistemleri halen gelişmekte olan ve önemli ölçüde yatırım çeken bir alan olarak kabul edilebilir. *Society of Automotive Engineers* (SAE)'nin yaptığı sınıflandırmada temel olarak 6 seviye bulunmaktadır. Bu seviyeler, araçta hiçbir sürücü destek sisteminin bulunmadığı ve tüm sorumluluğun her zaman sürücüde olduğu Seviye 0'dan, tam otonomi anlamına gelen ve sürücünün yolu gözlemlemesinin dahi gerekmediği ve aracın kendi sistemleri ile istenen bir noktadan diğerine gitmek için hiçbir sürücü desteğine ihtiyaç duymadığı Seviye 5'e kadar uzanmaktadır (Yiğit ve diğerleri 2020). Günümüzde, ticari açıdan bakıldığında Seviye 2-3 sistemler daha ön planda tutulurken, araştırma projelerinde ise yoğunlukla Seviye 3-5 çözümler üzerine odaklanılmaktadır.

Otonom bir aracın karayolunda güvenli bir şekilde seyredebilmesi için birçok farklı ve detaylı alt problemin etkili bir şekilde çözülmüş olması gerekmektedir (Kuwata ve diğerleri, 2009). Bu problemler; sensör konfigürasyonu ve kurulumundan, algılama algoritmalarının geliştirilmesine, araç hareketinin planlanmasından etkili kontrol yöntemlerinin geliştirilmesine kadar geniş bir aralıkta yer alır. Bu çalışma kapsamında, yanal ve doğrusal yörünge planlama problemi detaylı olarak ele alınmıştır.

Literatürde otonom araçların yol ve yörünge planlaması üzerine yapılmış birçok çalışma mevcuttur (Glaser ve diğerleri, 2010), (Xu ve diğerleri, 2012), (Potzy ve diğerleri, 2019). (González ve diğerleri, 2015) 'de değinildiği gibi bu yaklaşımları, graf arama temelli planlama yöntemleri, örneklem tabanlı yöntemler, eğri interpolasyonu yaklaşımları ve sayısal optimizasyon olarak özetlemek mümkündür. Graf arama temelli yaklaşımlara örnek olarak Dijkstra Algoritması ve temelinde bu algoritmaya dayanan A\* yöntemi gösterilebilir. Bu yaklaşımlar temelinde bir grid üzerindeki en kısa yolu bulmayı hedefler ancak bu tarz yaklaşımlarda süreklilik temelli problemlerle karşılaşmak olasıdır. Çözüm sürelerinin uzayabilmesi de gerçek zamanlı uygulama imkânlarını kısıtlayabilen bir diğer unsur olarak karşımıza çıkar. Örneklem tabanlı yaklaşımlara örnek olarak ise "*Rapidly-Exploring Random Tree*" (RRT) metodu gösterilebilir. Bu yaklaşım hem global hem de lokal planlama için uygundur

ve yeterli süre verildiğinde çözüme yakınsamayı vaat eder ancak yine süreklilik ve konfor temelli problemlerle karşılaşılabilir. Eğri interpolasyonu temelli yaklaşımlara ise polinom (Yang ve diğerleri, 2018), Klotoid, Bezier eğrileri (Park, Lee ve Han, 2014), Spline eğrileri temelli birçok yaklaşımı örnek vermek mümkündür. Seçilen eğrinin yapısına bağlı olarak farklı sonuçlar elde etmek mümkün olsa da bu yaklaşımın en temel avantajı düşük hesaplama süreleri iken optimalite temelli sorunlarla karşılaşılabilir. Sayısal optimizasyon temelli yaklaşımlarda ise en genel durumda yol ve araç kısıtlamaları da göz önünde bulundurulurken hız, sürüş açısı, doğrusal ve yanal ivme gibi sürüş dinamiklerinin optimizasyonu hedeflenir. Gerçek zamanlı çözüm gerektiren Model Öngörülü Kontrol (Model Predictive Control-MPC) gibi yaklaşımlar özellikle teknolojik gelişmelerin de katkısıyla popülerliğini korumaktadır (Gao, 2014) ve (Weiskircher ve Ayalew, 2015). Ancak gerçekleştirilebilirlik ve gerekli olan hesaplama yükü bu tarz yaklaşımların karşılaştığı sorunların başında gelmektedir.

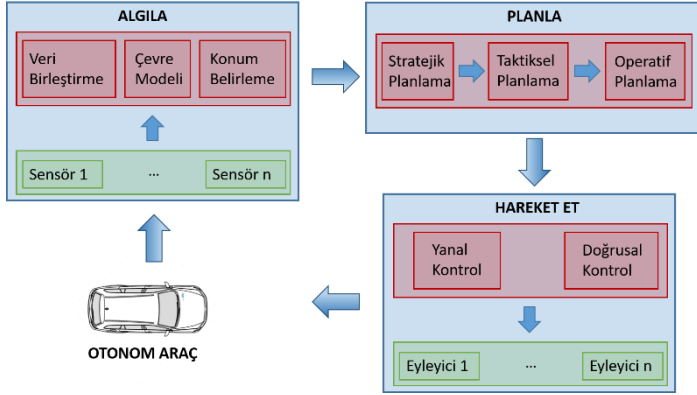
Bu çalışma kapsamında ise özel olarak yörünge planlamasının etkili bir şekilde çözümüne yönelik bir yaklaşım öne sürülmüş ve pratik uygulamalarda karşılaşılan sorunların nasıl çözüldüğü detaylı olarak ele alınmıştır. Doğrusal ve yanal yörünge planlaması problemleri ayrı ayrı optimizasyon problemi olarak formüle edilebilir. Önerilen yöntemde ilgili optimizasyon probleminin analitik çözümü (doğrusal ve yanal yörünge için ayrı ayrı olmak üzere) çevrimdışı evrede elde edilir. Böylece optimal yörünge yapısı ifadesi belirlenmiş olur ve bu sayede gerçek zamanlı uygulamada sadece ilgili yörünge katsayılarının belirlenmesi yeterli olur. Katsayıların belirlenmesi için ise doğrusal denklem takımının çözülmesi yeterlidir. Bu yaklaşım özellikle gerçek zamanlı uygulamalarda hesaplama yükü açısından büyük bir avantaj sağlamaktadır ve bir çevrimde (ortalama 40 ms) çok fazla sayıda yörünge hızla hesaplanabilmesine ve en iyisinin seçilmesine olanak sağlar. Önerilen yöntemin etkinliğinin gerçek zamanlı benzetimler üzerinden gösterilebilmesi adına "*Automotive Data and Time-Triggered Framework*" (ADTF) ortamında gerekli tüm uygulama modüllerinin entegre edildiği bir "*Software In the Loop*" (SIL) test ortamı oluşturulmuştur. Gerçek zamanlı benzetimler bu test ortamı üzerinden çalıştırılarak önerilen yörünge planlama yaklaşımının etkinliği gösterilmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Otonom Sürüş Mimarisi

Literatürde otonom sürüş sistemlerinin sınıflandırılmasına yönelik çok sayıda yayın bulunmaktadır. Ancak genel olarak bakıldığında araştırmacılar, bu tarz sistemleri "algıla", "planla" ve "hareket et" prensiplerine dayanan bilişsel sistem (*cognitive system*) olarak sınıflandırmakta ve çözüm önerileri de yine bu kapsam doğrultusunda öne sürülmektedir (Taş ve diğerleri, 2016). Bahsedilen bu bilişsel sistem mimarisinin ana hatları Şekil 1'de verildiği gibidir. Şekil 1'den de anlaşılacağı gibi bu tarz bir yaklaşımda öncelikle otonom aracın önündeki yol bilgisi, çevresel faktörler ve sürüş stratejisine etki edebilecek diğer tüm bilgiler sensörler aracılığıyla toplanmalı ve çeşitli bütünleştirme algoritmaları ile anlam bütünlüğü içerecek şekilde işlenmelidir. Bu aşamada birden fazla sensörün bir niteliği belirlemek için kullanıldığı durumlar mutlaka ayrıntılı olarak ele alınmalıdır. Örneğin kamera, radar ve LIDAR sensörlerinden gelen bilgiler birleştirilerek aracın önündeki bir engelin araca ne kadar uzak olduğu büyük bir hassasiyetle belirlenmelidir. Bu

katman kendi içinde sensör seçimi, sensörlerin kurulumu, veri akışının sağlanması ve güvenliği, sensör birleştirilmesi (*sensor fusion*), çevre ve araç modelinin oluşturulması, konumlandırma gibi çok çeşitli ve derin problemleri içerir (Açıkel ve Gökçen, 2019). Sensör verilerinin birleştirilmesinde çoğunlukla Kalman filtresi temelli yaklaşımların kullanıldığı söylenebilir.



Şekil 1. Bilişsel sistem temelli otonom sürüş mimarisini

Bu tarz sistemlerdeki bir diğer ana katman ise karar alma/planlama katmanıdır. Bu katmanın en temel görevi sürülmek istenen rotayı global ve lokal anlamda planlamaktır. Bu katman da kendi içinde 3 alt katmana ayrılabilir. Bu katmanlar stratejik, taktiksel ve operatif planlama olarak isimlendirilebilir. Stratejik planlama katmanında genellikle rota hesaplamaları gerçekleştirilir. En genel durumda bu katmanda sürücü talepleri ve aracın durumu (örneğin araç bataryasının şarj durumu) göz önünde bulundurularak optimal bir rota hesaplanır. Dolayısıyla bu bölümde alınan kararlar global bir nitelik taşır. Bu aşamada belirlenen rotanın nasıl gerçekleştirileceği gibi daha somut problemlerle ise taktiksel planlama ve operatif planlama aşamalarında yoğunlaşılır.

Taktiksel planlama aşamasında en genel durumda stratejik aşamada alınan kararların uygulanabilmesi için gerekli olan manevra talepleri oluşturulur. Bu aşamada gerçek sürüş durumu ile hedeflenen durum sürekli olarak karşılıklı olarak kontrol edilir ve gerektiği durumlarda "şeritte kalma", "şerit değiştirme", "park etme" vb. gibi manevra talepleri oluşturularak bir alt katmana iletilir.

Operatif planlama katmanında ise talep edilen manevraların gerçekleştirilebilmesi için gerekli olan yol (*path*) ve yörünge (*trajectory*) planlaması gerçekleştirilir. Planlama açısından bakıldığında en alt seviye olarak görülen bu katmanda her bir manevranın durumu ve gerçekleştirilebilirliği her an kontrol edilir. Yörünge planlaması da bu katmana dahil olduğundan bu çalışma kapsamında bu konudaki detaylara ilerideki bölümlerde ayrıntılı olarak yer verilecektir.

Şekil 1'de gösterilen en son katman ise planlamadan sonra gelen "Hareket Et" katmanıdır. Bu aşamada bir önceki katmanda oluşturulan yanal ve doğrusal yörünge referans olarak kabul edilir ve hem yanal hem de doğrusal hareketin planlanan yörünge çerçevesinde gerçekleştirilebilmesi için çeşitli kontrol yöntemleri uygulanır. Böylece yanal ve doğrusal eyleyiciler vasıtasıyla aracın planlanan yörünge dâhilinde hareket etmesi sağlanır. Yanal hareketin planlanan şekilde gerçekleştirilebilmesi için yanal sapma, oryantasyon ve eğrilik değerlerinin düzgün bir şekilde kontrol edilmesi gerekirken doğrusal hareket için ise konum hatası, hız ve ivmenin kontrol edilmesi gerekmektedir (Schrödel ve Schwarz, 2019).

## 2.2. Lokal Hareket Planlaması Katmanı

Bu bölümde yörünge ve yol planlamasını da içinde bulunduran lokal hareket planlaması katmanının detayları üzerinde durulacaktır. Kabaca tarif etmek gerekirse bu katmanın en temel görevi yol durumuna, seçilen manevra türüne ve aracın hızına bağlı olarak otonom aracın önündeki yaklaşık 20-100 m için yol ve yörünge planının oluşturulmasıdır. Bu katmanda her bir manevra türüne karşı düşen yolun ayrı bir modül tarafından hesaplandığı çözüm yöntemleri mevcuttur (Schrödel ve Freese, 2019). Örneğin şerit değiştirme manevrası talebi geldiğinde ilgili otonom aracın kat edeceği yol farklı bir modül tarafından hesaplanırken, şeritte kalma veya park etme manevrası talep edildiğinde bu manevralara karşı düşen yollar ilgili manevra modülleri tarafından oluşturulur. Bu noktada unutulmaması gereken bir diğer husus da yol bilgisinin aslında ayrı noktalarından oluştuğudur. Diğer bir deyişle gerçekleştirilebilirlik ve/veya süreklilik ile ilgili kısıtların sağlanmasından bu modüller sorumlu değildir. Bu kısıtlar önerilen sistem mimarisinde daha sonra gelen yörünge planlama modülü tarafından sağlanmalıdır.

Planlanan ve modifiye edilen (güvenlikle ilgili kısıtlar doğrultusunda) yol bilgisi lokal hareket planlaması katmanında son olarak yörünge planlama modülüne iletilir. Bu aşamada hedeflenen, gelen yol bilgisi doğrultusunda aracın başlangıç konumundan planlanan son konumuna mümkün olduğunca yumuşak bir yörünge doğrultusunda ilerlemesini sağlayacak yörünge hesaplanmaktadır. Bu kapsamda araç içindeki yolcuların konforu ve güvenliğinin yanı sıra oluşturulan yörünge aracın tarafından gerçekleştirilebilir olup olmadığı da mutlaka göz önünde bulundurulmalıdır.

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

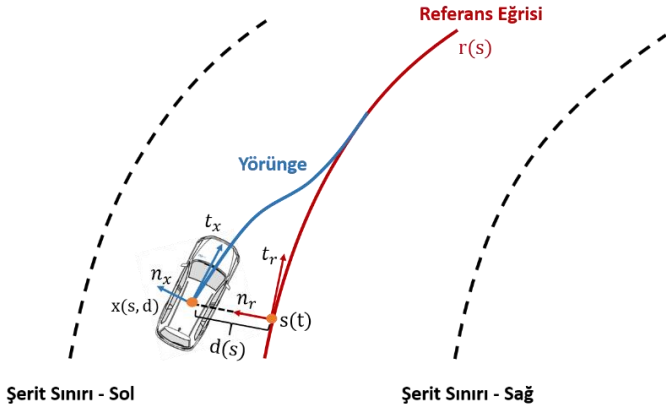
### 3.1. Yörünge Planlama

Önceki bölümde de kısaca değinildiği gibi "yol" aslında otonom aracın ilerisindeki hareket alanının ayrı bir temsidir. Diğer bir deyişle yol ayrı noktalarından oluşan ve duruma göre hem konum hem de hız bilgisini de içerebilen bir listedir. Bu nedenle en genel durumda, araç dinamiklerine ilişkin fizibilite, gerçekleştirilebilirlik koşulları ve/veya sürüş konforu "yol" tarafından karşılanmaz. Otonom sürüş kapsamında bu kısıtlar yörünge tarafından karşılanmalıdır.

Aracın istenen/planlanan durumu olarak da ifade edilebilen yörünge terimi ise doğrusal ve yanal pozisyonun, hızın ve ivmenin sürekli zamandaki bir ifadesi olarak tanımlanabilir. Bu çalışma kapsamında önerilen yörünge planlama yaklaşımındaki en temel kavramlar, yolun ortasını temsil eden referans eğrisi, doğrusal ve yanal yörünge olduğu iddia edilebilir. Bu nedenle, bu temel kavramlar ve nasıl hesaplandıkları ayrıntılı olarak ele alınacaktır.

#### 3.1.1. Referans Eğrisi

Şerit temelli koordinat düzlemleri otonom sürüş ile ilgili alanlarda birçok durumun daha etkili temsil edilmesine ve çözüm yollarına daha doğrudan gidilmesine olanak tanır. Bu nedenle geliştirilen yörünge planlama yaklaşımında Frenet koordinat düzlemi temel alınmıştır. Bu koordinat düzleminde, referans eğrisi yolun ortasını temsil eder ve eğer bir yanal sapma söz konusu ise en genel durumda amaç bu referans eğrisine yani yolun ortasına yakınsamaktır.



Şekil 2. Frenet koordinat düzlemi ve yörünge

Şekil 2 'den de görülebileceği gibi bu eğrinin teğet ve normal doğrultuları sırasıyla doğrusal ( $s(t)$ ) ve yanal ( $d(s)$ ) yörüngeyi doğrultusunu belirlemede kullanılır. Bu tarz bir yaklaşım hem insan benzeri sürüş dinamiklerini oluşturmayı daha kolay hale getirir hem de farklı ve çok sayıda doğrusal ve yanal yörünge çiftlerinin birleştirilmesine olanak tanır (Werling ve diğerleri, 2010). Bu durum da sonuçta istenen performans kriterini optimize eden doğrusal ve yanal yörünge çiftinin seçilebilmesine olanak tanır.

Frenet düzleminde referans eğrisi her şeyin temelidir. Referans eğrisi ve yörünge bilgileri verildiğinde otonom aracın koordinatları doğrudan belirlenebilir. Diğer taraftan aracın konumunun bilindiği ve referans eğrisinin elde edildiği durumlarda, karşı düşen yanal sapmanın ifadesini de belirlemek mümkündür (Nicklas, 2013). Aracın konumu referans eğrisinin normali üzerinde yer almalıdır. Bu nedenle doğrudan analitik bir yaklaşımla referans eğrisinin hangi noktasının bu koşulu sağladığını belirlemek en genel durumda mümkün değildir. Ancak, pratikte Newton yöntemi gibi sayısal yöntemler kullanılarak bu nokta büyük bir hassasiyetle belirlenebilir.

### 3.1.2. Doğrusal Yörünge

Doğrusal yörünge aracın hareket doğrultusundaki konumunun zamana bağlı olarak değişimi olarak tanımlanabilir. Elde edilen doğrusal yörüngeye zamana bağlı türevleri alındığında doğrusal hız ve ivme profili de kolaylıkla belirlenebilir. Özellikle şehir içindeki trafik koşulları ve değişen hız sınırlamaları göz önünde bulundurulduğunda doğrusal yörüngeye sürüş güvenliğine ve konfora etkisinin çok önemli olduğu kolaylıkla görülebilir.

Bu çalışma kapsamında otonom aracın kinematik hareket modeli kullanılarak (çift katlı integratörlü sistem) belirli bir performans ölçütünü minimize eden doğrusal yörüngeye analitik çözümü hesaplanmıştır.

İlgili optimal kontrol problemi

$$\begin{aligned} \min J_s &= k_{t_f} t_f + \int_0^{t_f} \frac{\alpha_s}{2} u_s^2(t) + \frac{\gamma_s}{2} s_3^2(t) dt \\ \dot{s}(t) &= \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} s(t) + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} u_s(t), \\ s(0) &= s_0 \text{ ve } s(t_f) = s_{t_f} \end{aligned} \quad (1)$$

şeklinde formüle edilmiştir. Burada  $s$  durum vektörünü temsil etmektedir ve  $s_1$ ,  $s_2$  ve  $s_3$  sırasıyla kat edilen mesafeyi, hızı ve ivmeyi temsil etmektedir. İvmenin türevi ise giriş işareti olarak kabul edilmiştir. (1)'den görülebileceği gibi performans ölçütü son değer bileşeni dışında ( $k_{t_f} t_f$ ) en temelde ivme ve ivmenin türevine bağlı karesel ifadelerle bağlıdır. Bu durum ise sadece ivmenin türevinin göz önünde bulundurulduğu (Werling ve diğerleri, 2010) ve (Potzy ve diğerleri, 2019) gibi çalışmaların aksine hem yolcu konforunun hem de enerji verimliliğinin birlikte değerlendirilebilmesi açısından avantaj sağlamaktadır.

$\alpha_s$  ve  $\gamma_s$  terimleri ise ağırlık katsayılarıdır. Bu çalışma kapsamında ivme ve ivmenin türevinin optimal kontrol problemine eşit oranda etki etmesi istendiğinden her iki ağırlık katsayısı da 0.25 olarak seçilmiştir. Bu noktada esas önemli olan ise her iki ağırlık katsayısının birbirlerine olan oranıdır. Örneğin ivme değerinin daha baskın olması istenirse  $\gamma_s/\alpha_s$  oranı 1'den büyük olacak şekilde ağırlık katsayıları seçilmelidir. (1) ile ifade edilen optimal kontrol probleminde  $t_f$  son zamanı temsil ederken  $k_{t_f}$  ise son zamanın etkisini tüm performans ölçütü içerisinde ağırlıklandırılan katsayıdır.

Burada amaç (1) ile ifade edilen  $J_s$  fonksiyoneli minimize eden yörüngeye diğer bir deyişle  $s_1$ 'in belirlenmesidir. Bu aşamada analitik çözüm Pontryagin'in Minimum Prensibi yöntemi temel alınarak belirlenebilir. (Mutlu ve diğerleri, 2019)'da belirtildiği gibi karşı düşen Hamiltonian ifadesi

$$\mathcal{H}(t, s^*, u_s^*, \lambda) = \lambda_1 s_2 + \lambda_2 s_3 + \lambda_3 u_s + \frac{\alpha_s}{2} u_s^2 + \frac{\gamma_s}{2} s_3^2 \quad (2)$$

şeklinde dir. Burada  $\lambda_1, \lambda_2$  ve  $\lambda_3$  Lagrange çarpanlarını temsil eder. Bu noktada sonuca Hamiltonian ifadesinin gradyeni alınarak ve sonuçta elde edilen homojen diferansiyel denklem çözülerek gidilebilir (Liberzon, 2011). Bu yöntem izlendiğinde

$$\frac{d^6 s_1^*}{dt^6} - \frac{\gamma_s}{\alpha_s} \frac{d^4 s_1^*}{dt^4} = 0 \quad (3)$$

şeklinde altıncı mertebeden homojen bir diferansiyel denklem elde edilir. Diferansiyel denklemin karakteristik eşitliği ise

$$p(\xi) = \xi^6 - \xi^4 \frac{\gamma_s}{\alpha_s} = \xi^4 \left( \xi^2 - \frac{\gamma_s}{\alpha_s} \right) \quad (4)$$

olarak yazılabilir. Bu durumda  $\xi = 0$ 'da dört katlı kök olduğu ve diğer iki kökün de

$$\xi_5 = \sqrt{\frac{\gamma_s}{\alpha_s}} \text{ ve } \xi_6 = -\sqrt{\frac{\gamma_s}{\alpha_s}} \quad (5)$$

şeklinde belirlenebileceği görülür. Bu durumda (1) ile verilen optimal kontrol problemini minimize eden  $s_1$  yani doğrusal yörüngeye analitik olarak

$$s_1(t) = \sigma_0 + \sigma_1 t + \sigma_2 t^2 + \sigma_3 t^3 + \sigma_4 e^{k_s t} + \sigma_5 e^{-k_s t} \quad (6)$$

olarak belirlenir. Böylece ilgili optimal kontrol problemini minimize eden yörüngeye yapısı belirlenmiş oldu.  $\sigma_{0-5}$  katsayı terimlerinin belirlenebilmesi için ise

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & k_s & -k_s \\ 0 & 0 & 2 & 0 & k_s^2 & k_s^2 \\ 1 & t_{f,j}^i & t_{f,j}^{i^2} & t_{f,j}^{i^3} & e^{k_s t_{f,j}^i} & e^{-k_s t_{f,j}^i} \\ 0 & 1 & 2t_{f,j}^i & 3t_{f,j}^{i^2} & k_s e^{k_s t_{f,j}^i} & -k_s e^{-k_s t_{f,j}^i} \\ 0 & 0 & 2 & 6t_{f,j}^i & k_s^2 e^{k_s t_{f,j}^i} & k_s^2 e^{-k_s t_{f,j}^i} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sigma_0^i \\ \sigma_1^i \\ \sigma_2^i \\ \sigma_3^i \\ \sigma_4^i \\ \sigma_5^i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} s_0 \\ \dot{s}_0 \\ \ddot{s}_0 \\ s^i \\ \dot{s}^i \\ \ddot{s}^i \end{bmatrix} \quad (7)$$

şeklinde formüle edilen doğrusal denklem takımının çözülmesi gerekmektedir. Burada ilk üç satır aracın başlangıçtaki doğrusal konumunu, hızını ve ivmesini temsil ederken son üç satır ise aracın istenen son durumundaki doğrusal pozisyonu, hızı ve ivmeyi temsil etmektedir. İlk üç satırın oluşturulabilmesi için  $t = 0$  alınmıştır. Örneğin (6) ile ifade edilen doğrusal yörüngede  $t = 0$  alındığında (7)'de verilen matrisin ilk satırı elde edilir. Aynı şekilde (6)'nın türevi  $t = 0$  alınarak yeniden yazıldığında ise (7)'nin ikinci satırı elde edilir. 4-6. satırları için ise  $t = t_f$  alınarak işlemler gerçekleştirilmiştir. Böylece altı bilinmeyene ( $\sigma_{0-5}$ ) karşılık altı denklem elde edilmiş olur (3 ilk koşul ve 3 son koşul). Bu sayede gerçek zamanlı uygulamada optimizasyon probleminin tekrar tekrar çözülmesine gerek kalmaz. Verilen bir ilk ve son koşul çifti için optimal yörünge parametreleri lineer denklem takımının çözümünden doğrudan elde edilebilir. Yine bu sayede son koşullar çok fazla sayıda değiştirilerek gerçek zamanlı uygulamada pratik açıdan en uygun yörünge belirlenebilir.

### 3.1.3. Yanal Yörünge

Otonom araç eğer yolun ortasından (bu yaklaşımda referans eğri) sapmış ise nasıl bir yörünge izleyerek referans eğrisine yakınsayacağı yanal yörünge tarafından belirlenir. Diğer bir deyişle yanal yörünge en temel görevi meydana gelen yanal sapsmaları mümkün olduğunca yumuşak bir yol izleyerek kapatmak ve aracı tekrar yolun ortasında konumlandırmaktır.

Yanal yörünge belirlenmesi için de doğrusal yörüngedekine benzer bir yaklaşım kullanılabilir. Bu aşamada aracın yanal hareketi kinematik yaklaşımla modellenecektir.  $d$  durum vektörünün elemanları  $d_1, d_2$  ve  $d_3$  sırasıyla yanal sapma (yanal yörünge), yanal hız ve yanal ivmeyi temsil etmektedir.

Yanal yörünge belirlenmesine yönelik olarak

$$\min J_d = k_{t_f} t_f + \int_0^{t_f} \frac{\alpha_d}{2} u_s^2(t) + \frac{\gamma_d}{2} d_2^2(t) dt$$

$$\dot{d}(s(t)) = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} d(s(t)) + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} u_d(t), \quad (8)$$

$$d(0) = d_0 \text{ ve } d(s(t_f)) = d_s(t_f)$$

şeklinde formülüne edilen optimal kontrol probleminin çözülmesi gerekmektedir. Bu formülasyonda  $u_d$  yanal ivmenin türevini temsil ederken,  $\alpha_d$  ve  $\gamma_d$  terimleri ise ağırlık katsayılarıdır.

Doğrusal yörüngedekine benzer yöntemler kullanıldığında ise analitik çözüm  $k_d = \sqrt[4]{\frac{\gamma_d}{4\alpha_d}}$  olmak üzere

$$d_1(s) = \delta_0 + \delta_1 s + e^{k_d s} (\delta_2 \cos(k_d s) + \delta_3 \sin(k_d s)) + e^{-k_d s} (\delta_4 \cos(k_d s) + \delta_5 \sin(k_d s)) \quad (9)$$

şeklinde belirlenir. Bu çözümde  $\delta_{0-5}$  katsayı terimlerini ifade etmektedir ve gerçek zamanlı uygulamada bu katsayı terimleri verilen bir ilk ve son koşul seti için belirlenmelidir. Bu aşamada (9)'un türevi alınarak yanal hız onun da türevi alınarak yanal ivmenin analitik ifadesi belirlenebilir.

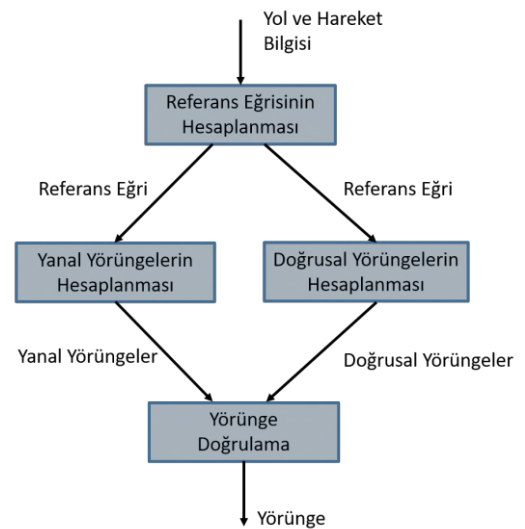
$\delta_{0-5}$ 'in belirlenebilmesi için yine toplamda altı adet denkleme ihtiyaç duyulur. Bunlardan 3'ü ilk koşullardan (yanal pozisyon, yanal hız ve yanal ivme) diğer 3 ü ise son koşullardan (yanal son pozisyon, yanal son hız ve yanal son ivme). Yanal yörünge özelinde konuşulduğunda son hız ve son ivme genellikle sıfır olarak seçilir bunun nedeni araç yolun ortasına ulaştığında hâlihazırdaki hızı ve/veya ivmesiyle yolun diğer tarafına savrulmasını engellemektir (Voßwinkel ve diğerleri, 2020). Bu bilgiler ışığında gerçek zamanlı uygulamada çözülmesi gereken doğrusal denklem takımı

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & k_d & k_d & -k_d & k_d \\ 0 & 0 & 0 & 2k_d^2 & 0 & -2k_d^2 \\ 1 & s & e^{k_d s} c_1 & e^{k_d s} c_2 & e^{-k_d s} c_1 & e^{-k_d s} c_2 \\ 0 & 1 & k_d e^{k_d s} (c_1 - c_2) & k_d e^{k_d s} (c_1 + c_2) & -k_d e^{-k_d s} (c_1 + c_2) & -k_d e^{-k_d s} (c_2 - c_1) \\ 0 & 0 & -2k_d^2 e^{k_d s} c_2 & 2k_d^2 e^{k_d s} c_1 & 2k_d^2 e^{k_d s} c_2 & -2k_d^2 e^{k_d s} c_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta_0^i \\ \delta_1^i \\ \delta_2^i \\ \delta_3^i \\ \delta_4^i \\ \delta_5^i \end{bmatrix} = [d_0 \ d_1 \ d_2 \ d_3 \ d_4 \ d_5]^T \quad (10)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada  $c_1$  ve  $c_2$  sırasıyla  $c_1 = \cos(k_d s)$  ve  $c_2 = \sin(k_d s)$  olarak ifade edilen kısaltmalardır.

### 3.2. Yörünge Planlamada Gerçekleştirilen Temel Adımlar

Bu bölümde önerilen yörünge planlama yönteminin gerçekleşmesinde takip edilen ana adımlara yer verilecektir. Şekil 3 'ten de görülebileceği gibi öncelikle yol bilgisi kullanılarak referans eğrisi hesaplanır. Ardından doğrusal ve yanal yörünge hesaplamaları ayrı ayrı paralel bir şekilde gerçekleştirilir. Bu aşamada hem doğrusal hem de yanal yörünge için yapılması gereken ilk ve son koşul çiftlerinin belirlenmesidir. İlk koşullar genel olarak ölçüm verisine bağlı olmakla birlikte son koşullar birden fazla olarak belirlenebilir. Bu sayede yüzlerce doğrusal ve yanal yörünge ayrı ayrı hesaplanmış olur.



Şekil 3. Yörünge planlamasında uygulanan temel adımlar

Sonuçta istenen ise bir adet doğrusal ve yanal yörünge çiftinin belirlenmesidir. Aslında son olarak belirlenen bu doğrusal ve yanal yörünge çifti bizim için “yörünge” olarak isimlendirilir.

Diğer bir deyişle eğer 100 adet doğrusal 10 adet de farklı yanal yörünge hesaplandıysa sonuç olarak toplamda 1000 adet yörünge çifti elde edilmiş olur. Bu bin adet yörünge

$$J(s(t), d(s)) = k_s J_s(s(t)) + k_d J_d(d(s)) \quad (11)$$

kıstasına göre sıralanır ve doğrulama testlerine sokulur. (11) ile ifade edilen ölçütü optimize eden ve tüm doğrulama testlerinden başarı ile geçen yörünge ise “en iyi” olarak belirlenir ve bu yörünge'nin katsayıları (hem doğrusal hem de yanal) kontrol katmanına iletilir.

### 3.3. Karşılaşılan Pratik Problemler ve Çözüm Önerileri

Önerilen yörünge planlama yaklaşımı park etme gibi düşük hızlı uygulamalardan otoban sürüşleri gibi yüksek hızlı uygulamalara çok geniş bir alanda uygulanabilir. Bununla birlikte yörünge planlama aşamasında kinematik model kullanıldığından araç türünün değişmesi yörünge planlama yaklaşımının her özel durumda yeniden düzenlenmesini gerektirmemektedir. Bu ve bunun gibi birçok avantajın yanı sıra gerçek zamanlı uygulamada göz önünde bulundurulması gereken çeşitli pratik sorunlar da mevcuttur. Bu bölümde yapılan araç testlerinde ve deneme sürüşlerinde karşılaşılan pratik sorunlara ve bu sorunlara karşı önerilen ve geliştirilen çözümlere yer verilecektir.

#### 3.3.1. Referans Eğrisi

Daha önce de değinildiği gibi otonom aracın ilerisindeki yolun ortasının sürekli zamandaki bir ifadesi olan referans eğrisi önerilen yörünge planlama yaklaşımın en temel bileşenlerinden bir tanesidir. Bu eğrinin hesaplanabilmesi için temelde bir eğri uydurma yaklaşımına ihtiyaç duyulur. Yapılan ilk uygulamalarda referans eğrisi olarak belirli mertebeden bir polinom hesaplanmıştır. Bu aşamada hesaplama yöntemi olarak ise en küçük kareler yaklaşımı kullanılmıştır. Bu yöntemin en temel avantajı kolaylıkla kodlanabilir ve araç üzerinde hızlıca uygulanabilir olmasıdır. Yol profilinin çok fazla değişmediği zamanlarda etkin sonuç almak da mümkün olmuştur. Ancak polinomun yapısal kısıtlarından dolayı sert U-dönüşü gibi bir takım manevraların gerçekleşmesi problematik hale gelmektedir. Polinom mertebesinin artırılması da bir noktadan sonra polinomun eğriliğini etkilediğinden pratik açıdan burada da bir üst sınır olduğu söylenebilir.

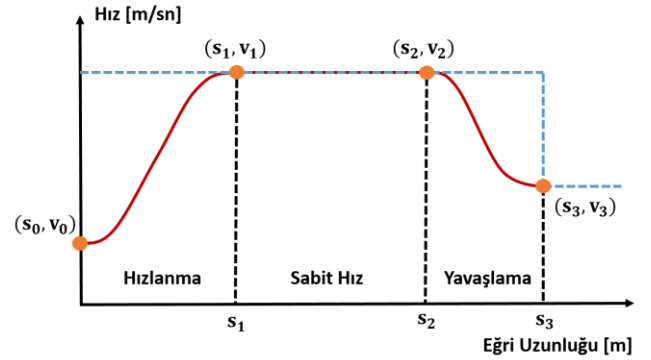
Bu tarz yapısal sorunların üstesinden gelebilmek adına eğri uydurmanın Bezier Eğrileri kullanılarak gerçekleştirilmesine karar verilmiştir. Bu yaklaşımda aracın ilerisindeki yol belirli alt aralıklara bölünür ve her aralığa ayrı ayrı Bezier eğrileri uydurulur. Yaklaşımın karakteristiği gereği bir birini takip eden eğrilerin geçiş noktalarındaki türevleri de ayarlanabildiğinden eğrilerin sürekliliği de garanti altına alınmış olur. Referans eğrisinin Bezier Eğrileri kullanılarak belirlendiği yaklaşımda eğri uydurma performansının önemli oranda iyileştirildiği gözlemlenmiştir.

#### 3.3.2. Doğrusal Yörünge

Doğrusal yörünge'nin hesaplama detaylarının ele alındığı önceki bölümlerde de değinildiği gibi ilk ve son koşullar belirlenen doğrusal yörünge'nin etkinliği açısından kritik bir öneme sahiptir. İlk koşullar genellikle sensör ölçüm verisi üzerinden gelir ve aracın o anki konum, hız ve ivme bilgisini içerir. Dolayısıyla doğrusal yörünge anlamında ilk koşullara

müdahale etmeye en genel durumda gerek yoktur. Ancak istenen son koşullar girdi olarak gelen “yol” profiline bağlıdır.

Şekil 4 'te verildiği gibi bir hız profilinin yörünge planlama modülüne gelen yol bilgisinde yer aldığını düşünelim. Böyle bir durumda otonom aracın ulaşabileceği maksimum hız limitinde sıçrama olduğu açıktır. Önerilen yörünge planlama yaklaşımında eğer doğrudan  $(s_3, v_3)$  ile belirtilen nokta ulaşılması hedeflenen son nokta olarak seçilse idi bu durumda gelen hız profiline uyma anlamında düşük bir sonuç elde edilmesi mümkündür. Bunun nedeni ise aslında bu senaryoda aracın önce belirli bir ivme ile hızlanıp maksimum hıza (bu özel durumda  $v_{maks} = v_1 = v_2$ ) ulaşmasına ve bir sonraki hız kriterini ( $v_3$ ) sağlamak için frenleme manevrasına başlamadan önce belirli bir süre bu hızla devam etmesine yetecek kadar mesafe olmasıdır.



Şekil 4. Örnek bir hız profili

Bu ve benzeri durumlarda doğrusal yörünge'nin etkinliğini arttırabilmek adına planlama modülüne gelen yol profilindeki hız bilgilerinin yapay olarak belirli alt bölgelere ayrıştırılmasına dayanan bir “Hız Profili Ayrıştırma” yaklaşımı önerilmiştir. Bu yöntemde doğrusal yörünge planlama modülüne gelen yolun içerdiği hız profili önceden belirlenen hızlanma ve yavaşlanma ivmeleri kullanılarak belirli alt profillere bölünmektedir. Örneğin Şekil 4 'te son koşul olarak yörünge planlama algoritmasına  $(s_3, v_3)$  çifti değil  $(s_1, v_1)$  çifti iletilecektir. Önerilen bu çözüm sayesinde özellikle yol profilinde talep edilen hızların sıklıkla değiştiği durumlarda pratik açıdan önemli iyileştirmeler gözlenmiştir.

#### 3.3.3. Yanal Yörünge

Yanal yörünge açısından bakıldığında karşılaşılan pratik problemler genellikle harita ve konumlandırma gereken uygulamalar olmuştur. Bu tarz uygulamalarda ölçümden ve konumlandırmadan kaynaklı problemlerden dolayı bazı durumlarda bir birini takip eden iki döngü arasında yanal sapma açısından zıplamalar gözlenmiştir. Belirli bir genliğe kadar bu tarz zıplamalar yörünge planlaması açısından problem teşkil etmese de (yanal yörünge hesaplanabilir durumdadır) bu durumun kontrolör katmanına etkileri yolcu konforu açısından olumsuz sonuçlar doğurmaktadır. Bu tarz durumlara çözüm önerisi olarak ise belirli sapmaların tespit edildiği durumlarda bu sapmaları kompanze edebilmek adına ilk koşulların doğrudan ölçüm verileri üzerinden değil aracın önceki konum ve son döngüde kat edilen mesafe üzerinden belirlenmesi yoluna gidilmiştir.

### 3.3.4. Yörünge Doğrulama

Önerilen yörünge planlama yaklaşımında dinamik sürüş ve gerçekleştirilebilirlik ile ilgili kısıtlar optimizasyon probleminin içerisinde ele alınmamıştır. Bu durumun en önemli nedenlerinden biri bu tarz kısıtlamalar söz konusu olduğunda analitik çözümü elde etmenin önemli ölçüde zorlaşmasıdır. Bu tarz bir yaklaşımla ilk aşamada dinamik sürüş kısıtları göz önünde bulundurulmadan optimal yörüngelerin (doğrusal ve yanal) yapısı belirlenmiş ve gerçek zamanlı uygulama aşamasında yörünge planlaması doğrusal denklem takımının çözümüne indirgenmiştir. Daha önce de değinildiği gibi bu yöntemle gerçek zamanlı uygulama esnasında bir çevrimde çok fazla sayıda yörünge hesaplanması mümkün hale gelmiştir.

Ancak, tasarlanan yörüngelerin uygunluğu ve uygulanabilirliği kontrolör katmanına iletilmeden önce doğrulanmalıdır. Örneğin, eğer hesaplanan yörünge aracın maksimum ivmelenme kapasitesini veya konforlu bir sürüş açısından istenen maksimum ivmelenme değerini aşıyorsa bu yörünge geçersiz olarak işaretlenmeli ve kontrolör katmanına iletilmemelidir.

Bir doğrusal ve bir yanal yörünge son aşamada bir “yörünge” çifti oluşturmaktadır. Geliştirici tarafından düzenlenebilmekle birlikte önerilen bu yöntemde bir döngüde 1000’e kadar yörünge çifti hesaplanabilmektedir. Hesaplamalar gerçekleştirildikten sonra hesaplanan yörünge çiftleri (11) ile ifade eden performans ölçütüne göre sıralanır. Tablo 1’deki tüm koşulları sağlayan ve (11) ile ifade edilen performans ölçütünü minimize eden yörünge çiftine ait katsayılar ise kontrolör katmanına iletilir.

Tablo 1. Uygulanan Doğrulama Testleri

Doğrulama Testi	Koşul
Doğrusal İvme	$a_x \leq a_{x,maks}$
Yanal İvme	$a_y \leq a_{y,maks}$
Kamm’s Circle	$a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2} \leq a_{maks}$
Eğrilik	$\kappa_c = \frac{v_x a_y - v_y a_x}{(\sqrt{v_x^2 + v_y^2})^3} \leq \kappa_{c,maks} = \frac{1}{R_{min}}$
Eğrilik değişimi	$\dot{\kappa}_c \leq \kappa_{d,maks}$
Sürüş yönü	$s_2(t) \geq 0, t \in [0 t_{son}]$
Şerit içinde kalma	Planlanan tüm araç konumları $t \in [0 t_{son}]$ için gelen sağ ve sol şerit konumlarının arasında kalmalıdır

Önerilen bu yaklaşım mümkün olduğunca esnek bir yapı sunmaktadır. Örneğin Tablo 1’de verilen doğrulama testlerinde ele alınan projenin/uygulamanın kapsamına göre kolaylıkla eklemeler yapmak mümkündür.

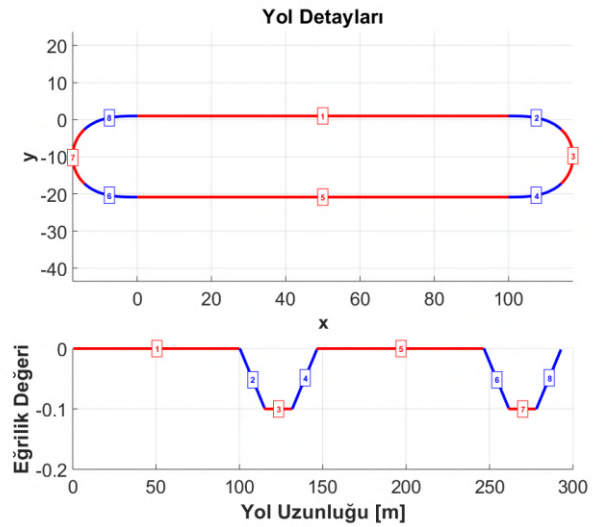
### 3.4. Gerçek Zamanlı Benzetim Sonuçları

Bu bölümde, önerilen yörünge planlama yönteminin etkinliği gerçek zamanlı benzetimler üzerinden gösterilecektir. Bu amaçla hem kontrolör yazılımının hem de planlama modüllerinin bir arada çalıştırılabileceği “Automotive Data and Time-Triggered Framework” (ADTF) kullanılacaktır. ADTF platformu yapısı itibarıyla hem bu tarz benzetimlerin hem de deneysel çalışmaların gerçekleştirilebilmesine olanak sağlayan güçlü bir platformdur. Bu çalışma kapsamında önerilen planlama modülleri doğrudan C++ dilinde gerçekleştirilmiştir. Kontrolörler ise ilk aşamada Matlab Simulink ortamında gerçekleştirildikten

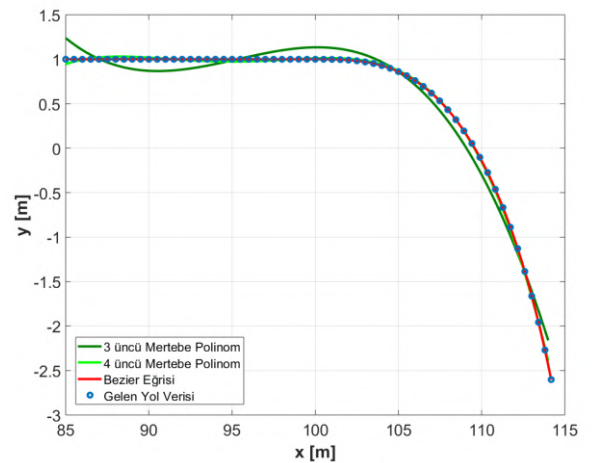
sonra otomatik kod dönüştürücüler yardımıyla ilgili kontrolörlere karşı düşen ADTF modülleri oluşturulmuştur. Bunun ardından tüm planlama ve kontrol modülleri ATDF ortamında bir konfigürasyon kapsamında birleştirilmiş ve böylece kapalı çevrim benzetimlerin gerçekleştirilebilmesine olanak sağlayan bir test ortamı oluşturulmuştur.

Doğrusal ve yanal yörüngelerin etkinliğinin gösterilebilmesi için Şekil 5’te gösterildiği gibi bir yol seçilmiştir. Seçilen yol iki adet 100 metrelik düz yol bölümünden ve iki adet de -0.1 eğrilikli virajdan oluşmaktadır. Yolun toplam eğri uzunluğu ise yaklaşık olarak 290 m’dir.

Daha önceki bölümlerde değinildiği gibi yörünge planlamasının ilk adımı referans eğrisinin mümkün olduğunca hassas olarak belirlenmesidir. Bu işlem aracın hareketi boyunca devam eder yani sürekli olarak aracın önündeki belirli bir eğri uzunluğu için referans eğrisi hesaplanır. Bu amaçla önerilen yöntemde iki farklı seçenek mevcuttur. Bunlardan ilki polinom uydurma, diğeri de Bezier eğrisi uydurmadır. Bu iki yöntemi daha sağlıklı bir şekilde kıyaslayabilmek adına hem düz bir yol bölümünün hem de viraj bölgesini içeren bir yol aralığı ele alınacaktır. Aracın  $x = 85$  m konumunda bulunduğu durum için hesaplanan referans eğrileri Şekil 6’da verildiği gibidir.



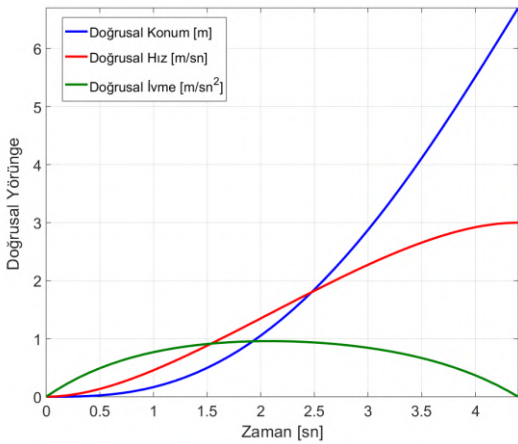
Şekil 5. Benzetimlerde kullanılacak yol profilinin detayları



Şekil 6. İlgili yol bölümü için hesaplanan farklı referans eğrileri

Bu şekilden de görülebileceği gibi polinom mertebesinin 3 olarak seçildiği durumda eğri istenen noktalara yeterince iyi uydurulamamaktadır. Buna ek olarak bu durumda bir takım yanıl kaymalar da söz konusu olur. Diğer taraftan 4. mertebeden polinomla bu durumda iyi bir yaklaşım elde edilmiştir. Polinomun mertebesini arttırmak ilk bakışta daha iyi eğri uydurma sonuçları verecek gibi görünse de pratikte bir takım başka sorunlar doğurmaktadır. Bu sorunların başında küçük de olsa yanıl dalgalanmaların artması ve karşılaşılabilecek sayısal sorunlar gösterilebilir. Diğer taraftan Bezier eğrileri ise hem eğri uydurma kalitesi bakımından hem de yanıl sapmaları azaltması bakımından daha iyi bir sonuç vermiştir. Bunlara ek olarak, Bezier eğrilerinin sensör gürültülerinin olduğu durumlarda dahi yeterli sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

Şekil 5 incelendiğinde başlangıç noktasının koordinatlarının  $x = 0$  ve  $y = 1$  olduğu görülür. Ego-araç merkezli yaklaşımlarda otonom araç her zaman için koordinat düzleminin merkezinde olduğundan bu durum başlangıçta yanıl olarak 1 metrelik farkla neden olur. Seçilen yol profili nedeniyle başlangıçta var olan bu 1 metrelik sapma yanıl yörünge aracılığıyla yok edilmelidir. Diğer taraftan aynı zamanda istenen hız profili de doğrusal yörünge aracılığıyla sağlanmalıdır. Başlangıçta araç hızının sıfır olduğu durumda hesaplanan doğrusal ve yanıl yörüngeler Şekil 7 ve Şekil 8 'de verildiği gibidir.

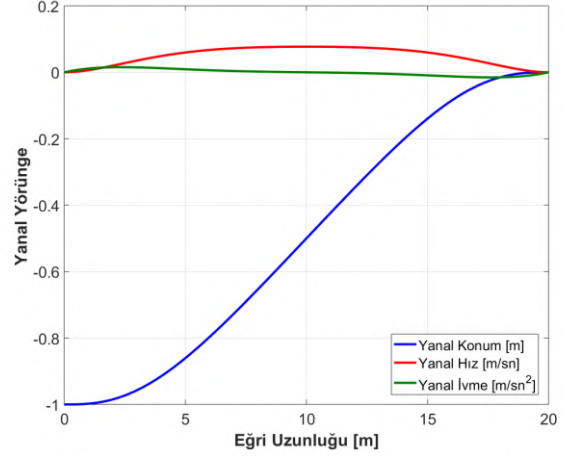


Şekil 7. Başlangıç konumu için hesaplanan doğrusal yörünge

Şekil 7 'den görülebileceği gibi planlanan yörünge aracın ilk hızı olan  $v_{ilk} = 0 \text{ m/sn}$  'den planlanan son hız olan  $v_{son} = 3 \text{ m/sn}$  'ye ulaşması için yumuşak bir ivmelenme eğrisi içermektedir. Aracın hız ve ivme kontrolünün istenen kriterler dâhilinde performans gösterebilmesi açısından planlama katmanından gelen referans değerlerin mümkün olduğunca düzgün ve sürekli olması büyük önem taşımaktadır. Şekil 7 'den görülebileceği gibi planlama katmanı tarafından üretilen doğrusal yörüngeler kontrol katmanının işini kolaylaştıracak niteliktedir.

Diğer taraftan başlangıçta var olan 1 metrelik yanıl sapmanın da yine mümkün olduğunca yumuşak bir şekilde sıfırlanması gerekmektedir. Şekil 8 ile verilen yanıl yörünge eğrileri incelendiğinde referans eğrisine olan yanıl sapmanın yüksek ve hızlı değişen yanıl ivmelere yol açmadan yaklaşık olarak 20 m içerisinde ortadan kaldırılmasının planlandığı görülmektedir. Sadece yörünge planlaması açısından bakıldığında başlangıçta var olan sapmayı daha kısa mesafede ortadan kaldıran yörüngeleri belirlemek de mümkündür. Ancak

bu tarz parametre seçimleri kontrolör tarafına binen yükü arttırmakta ve sonuçta elde edilen araç hareketinde istenmeyen sonuçlara da neden olabilmektedir. Bu nedenle kontrolör tarafındaki kısıtlar ve eğer varsa otonom aracın eyleyici kısıtlamalarını da bu aşamada göz önünde bulundurmak elde edilecek son sonuç açısından bakıldığında mantıklıdır.



Şekil 8. Başlangıç konumu için hesaplanan yanıl yörünge

Ele alınan bu ilk durum başlangıçta hesaplanan yörüngeleri temsil etmektedir. Her çevrimde referans eğrisi, doğrusal ve yanıl yörüngeler yeniden hesaplanır. Bunun en temel nedeni ise çevresel faktörlerde, sürüş şeridinde, yol durumunda ve trafikte meydana gelebilecek değişikliklere anında tepki verebilmektir. Ancak özellikle sensör gürültüsü durumunda kontrolöre sürekli tutarsız sinyaller göndermek de uygulama açısından mantıklı değildir. Bu nedenle eğer bir önceki çevrimde hesaplanan yörünge halen uygulanabilir durumda ise ilgili yörünge güncellenerek (hareket verileri de göz önünde bulundurularak) kontrolöre güncellenmiş verilerin gönderilmesi pratik açıdan olumlu sonuçlar doğurmaktadır.

Aracın tüm hareketi boyunca meydana gelen yanıl sapma değerleri de Şekil 9 'da verildiği gibi gerçekleşmiştir. Beklenildiği gibi ilk hata değerinin (1m) hızlıca kapandığı gözlenmektedir. Planlanan yanıl yörüngede aşım olmamasına rağmen gerçekleşen sistem cevabında küçük bir aşım değerinden söz etmek mümkündür. Bu durumun ortadan kaldırılabilmesi için kontrolör katsayılarının daha iyi sonuçlar verecek şekilde ayarlanması ve/veya farklı kontrol yöntemlerine geçilmesi söz konusu olabilir. Bunun dışında otonom araç ilk virajdan geçerken gerçekleşen maksimum sapmanın 0.15 m civarında olduğu gözlenmiştir. Aracın hızı ve virajın yapısı da göz önünde bulundurulduğunda gerçekleşen yanıl kaymanın kabul edilebilir sınırlar içerisinde kaldığı söylenebilir. Benzer bir durum ikinci viraj için de gerçekleşmiştir. Aracın hareketi tam olarak ikinci virajın sonunda sonlandırıldığından son durumda bir miktar yanıl kayma görülmektedir. Ancak araç ilk virajdan sonra olduğu gibi hareketine devam etseydi bu sapmanın da hızlıca kapanacağı söylenebilir.





- Gao, Y. (2014). *Model predictive control for autonomous and semiautonomous vehicles*. University of California, Berkeley (Doctoral dissertation).
- Glaser, S., Vanholme, B., Mammar, S., Gruyer, D., & Nouveliere, L. (2010). Maneuver-based trajectory planning for highly autonomous vehicles on real road with traffic and driver interaction. *IEEE Transactions on intelligent transportation systems*, 11(3), 589-606.
- González, D., Pérez, J., Milanés, V., & Nashashibi, F. (2015). A review of motion planning techniques for automated vehicles. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 17(4), 1135-1145.
- Heinrich, S. (2018). *Planning universal on-road driving strategies for automated vehicles* (Vol. 119). Springer.
- Kalra, N., & Paddock, S. M. (2016). Driving to safety: How many miles of driving would it take to demonstrate autonomous vehicle reliability?. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 94, 182-193.
- Kuwata, Y., Teo, J., Fiore, G., Karaman, S., Frazzoli, E., & How, J. P. (2009). Real-time motion planning with applications to autonomous urban driving. *IEEE Transactions on control systems technology*, 17(5), 1105-1118.
- Liberzon, D. (2011). *Calculus of variations and optimal control theory*. Princeton university press.
- Mutlu, İ., Freese, M., Alaa, K., & Schrödel, F. (2019). Case Study on Model Free Determination of Optimal Trajectories in Highly Automated Driving. *IFAC-PapersOnLine*, 52(5), 205-211.
- Nicklas, M. (2013). *Entwicklung eines Trajektorienplaners zum hochautomatischen Fahren im dynamischen Verkehrsumfeld*. Technische Universität Chemnitz, Fakultät für Mathematik.
- Park, B., Lee, Y. C., & Han, W. Y. (2014). Trajectory generation method using Bézier spiral curves for high-speed on-road autonomous vehicles. In *2014 IEEE International Conference on Automation Science and Engineering (CASE)* (pp. 927-932). IEEE.
- Potzy, J., Goerigk, N., Heil, T., Fassbender, D., & Siedersberger, K. H. (2019). Trajectory Planning for Automated Merging on Highways. In *VEHITS* (pp. 283-290).
- Schrödel, F., & Freese, M. (2019). Concept and validation of a guidance approach for highly automated shuttles. *IFAC-PapersOnLine*, 52(5), 359-365.
- Schrödel, F., & Schwarz, N. (2019). Case Study on a Proven Concept for Lateral Path Following Control. *IFAC-PapersOnLine*, 52(8), 344-349.
- Taş, Ö. Ş., Kuhnt, F., Zöllner, J. M., & Stiller, C. (2016). Functional system architectures towards fully automated driving. In *2016 IEEE Intelligent vehicles symposium (IV)* (pp. 304-309). IEEE.
- Voßwinkel, R., Mutlu, İ., Alaa, K., & Schrödel, F. (2020, May). A modular and model-free trajectory planning strategy for automated driving. In *2020 European Control Conference (ECC)* (pp. 1186-1191). IEEE.
- Weiskircher, T., & Ayalew, B. (2015). Predictive adas: A predictive trajectory guidance scheme for advanced driver assistance in public traffic. In *2015 European Control Conference (ECC)* (pp. 3402-3407). IEEE.
- Werling, M., Ziegler, J., Kammel, S., & Thrun, S. (2010). Optimal trajectory generation for dynamic street scenarios in a frenet frame. In *2010 IEEE International Conference on Robotics and Automation* (pp. 987-993). IEEE.
- World Health Organization. (2015). *Global status report on road safety 2015*. World Health Organization.
- Xu, W., Wei, J., Dolan, J. M., Zhao, H., & Zha, H. (2012). A real-time motion planner with trajectory optimization for autonomous vehicles. In *2012 IEEE International Conference on Robotics and Automation* (pp. 2061-2067). IEEE.
- Yang, D., Zheng, S., Wen, C., Jin, P. J., & Ran, B. (2018). A dynamic lane-changing trajectory planning model for automated vehicles. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 95, 228-247.
- Yiğit, E., ONER, A. E., & Yöntem, O. (2020). Otonom Araçların Otomotiv Sektörüne Etkileri ve Beraberinde Getirdiği Yenilikler. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 181-186.



# Dalgıç ve Düşey Milli Derin Kuyu Pompalarında Bazı Pompaj Parametrelerinin Karşılaştırılması

Nuri Orhan<sup>1\*</sup>, Mehmet Kurt<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü, Selçuklu, KONYA, Turkey, (ORCID: 0000-0002-9987-1695), nuriorhan@selcuk.edu.tr

<sup>2</sup> Selçuk Üniversitesi Cihanbeyli Meslek Yüksekokulu Yönetim ve Organizasyon Bölümü, KONYA, Turkey, (ORCID: 0000-0002-9566-6627), mehmet.kurt@selcuk.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 6 Temmuz 2021 ve Kabul Tarihi 6 Eylül 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.963369)

**ATIF/REFERENCE:** Orhan, N., Kurt, M., (2021). Dalgıç ve Düşey Milli Derin Kuyu Pompalarında Bazı Pompaj Parametrelerinin Karşılaştırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (27), 549-556.

## Öz

Tarımsal sulama faaliyetleri yer altı ve yer üstü su kaynaklarından sağlanmaktadır. Yer altı su kaynaklarının yeryüzüne çıkarmak için dalgıç ve düşey milli olmak üzere iki tip derin kuyu pompası kullanılmaktadır. Çalışmada 150 mm (D<sub>1</sub>), 175 mm (D<sub>2</sub>) ve 200 mm (D<sub>3</sub>) dış çapa sahip dalgıç ve 150 mm (M<sub>1</sub>), 175 mm (M<sub>2</sub>) ve 200 mm (M<sub>3</sub>) dış çapa sahip milli tip derin kuyu pompalarının farklı debi değerlerinde kuyu su seviyesi düşümüne, gürültü seviyesine, şebekeden çekilen güce ve toplam dinamik yükseklik değerlerine etkileri karşılaştırılması amaçlanmıştır. Aynı anma çapına sahip pompa tipleri kombinasyon olarak ele alınmıştır. Pompa tiplerinin karşılaştırılmasında kuyu su seviyesi düşüm değerlerine varyans analizi ve Tukey testi yapılmıştır. Deneme sonuçlarına göre, aynı tip pompaların anma çapları arttıkça kuyu su seviye düşümü genel olarak artmıştır. Pompa kombinasyonlarının (D<sub>1</sub>-M<sub>1</sub>, D<sub>2</sub>-M<sub>2</sub>, D<sub>3</sub>-M<sub>3</sub>) tamamın da pompa tipleri arasındaki kuyu su seviyesi düşüm değerleri istatistiki açıdan önemli bulunmuştur (p<0.01). Genel olarak dalgıç pompalarda milli pompalara göre daha fazla düşüm gerçekleşmiştir. D<sub>1</sub>-M<sub>1</sub> pompa tipinde gürültü seviyesi sırasıyla 74.04-73.07 dBA, D<sub>2</sub>-M<sub>2</sub> pompa tipinde 76.64-78.91 dBA ve D<sub>3</sub>-M<sub>3</sub> pompa tipinde ise 72.24-80.12 dBA olarak ölçülmüştür. Pompa anma çapı arttıkça milli pompalar daha fazla gürültülü çalışmıştır. Tüm debi değerlerinin ortalamasında, D<sub>2</sub>-M<sub>2</sub> pompa tiplerinde dalgıç pompa milli pompaya göre %8.4 daha fazla elektrik enerjisi çekerken, D<sub>3</sub>-M<sub>3</sub> pompa tiplerinde ise milli pompa dalgıç pompaya göre %8.3 daha fazla elektrik enerjisi çekmiştir. Pompa tiplerinin tamamında dalgıç pompada milli pompaya göre daha fazla toplam dinamik yükseklik değeri elde edilmiştir. Genel olarak aynı çalışma şartlarının sağlandığı durumlarda pompaların sağladığı toplam dinamik yükseklik ve şebekeden çektikleri güç bakımından dalgıç pompaların tercih edilmesi uygun olacaktır.

**Anahtar Kelimeler:** Dalgıç pompa, Milli pompa, Düşüm, Gürültü seviyesi, Toplam dinamik yükseklik.

## Comparison of Some Pumping Parameters in Submersible and Vertical Shaft Deep Well Pumps

### Abstract

Agricultural irrigation activities are provided from underground and surface water resources. Two types of deep well pumps submersible and vertical shaft are used to bring the underground water resources to the surface. In the study, different flow rates of submersible pumps with an outer diameter of 150 mm (D<sub>1</sub>), 175 mm (D<sub>2</sub>), and 200 mm (D<sub>3</sub>) and shaft type deep well pumps with an outer diameter of 150 mm (M<sub>1</sub>), 175 mm (M<sub>2</sub>) and 200 mm (M<sub>3</sub>), the aimed to compare the effects on the well water level drop, noise level, power drawn from the network and total dynamic height values. According to the trial results, as the nominal diameters of the same type pumps increased, the well water level drop generally increased. In all pump combinations (D<sub>1</sub>-M<sub>1</sub>, D<sub>2</sub>-M<sub>2</sub>, D<sub>3</sub>-M<sub>3</sub>), well water level drop values among pump types were found to be statistically significant (p < 0.01). In general, more reduction has been realized in submersible pumps compared to vertical shaft pumps. The noise level was measured as 76.64-78.91 dBA in the D<sub>1</sub>-M<sub>1</sub> pump type, 76.64-78.91 dBA in the D<sub>2</sub>-M<sub>2</sub> pump type and 72.24-80.12 dBA in the D<sub>3</sub>-M<sub>3</sub> pump type, respectively. As the pump nominal diameter increased, the vertical shaft pumps worked with louder noise. In the average of all flow rates, in D<sub>2</sub>-M<sub>2</sub> pump types, the submersible pump attracted 8.4% more electrical energy than the vertical shaft pump. In D<sub>3</sub>-M<sub>3</sub> pump types, the vertical shaft pump attracted 8.3% more electrical energy than the submersible pump. In all pump types, a higher total dynamic head value was obtained in the submersible pump compared to the national pump. In general, when the same operating conditions are met, it will be appropriate to choose submersible pumps in terms of the total dynamic head provided by the pumps and the power drawn from the network.

**Keywords:** Submersible, Vertical shaft pump, Drawdown, Noise level, Total dynamic head.

\* Corresponding Author: [nuriorhan@selcuk.edu.tr](mailto:nuriorhan@selcuk.edu.tr)

## 1. Giriş

Tarımsal sulama faaliyetleri yer altı ve yer üstü su kaynaklarından sağlanmaktadır. Türkiye'nin yıllık su kullanım miktarı 57 milyar m<sup>3</sup> olup; bunun % 77'si sulamada, geriye kalan kısmı ise içme-kullanma suyu, sanayi suyu ihtiyaçlarının karşılanmasında kullanılmaktadır. Diğer yandan, Türkiye'nin yıllık su kullanım miktarının 16.62 milyar m<sup>3</sup>'ü yer altı su kaynaklarından sağlanmaktadır. Yer altı su kullanım miktarının % 67.4'ü ise sulama amaçlı kullanılmaktadır (Anonim, 2019).

Yer altı su kaynaklarını yeryüzüne çıkarabilmek için düşey milli ve dalgıç olmak üzere iki tip derin kuyu pompası kullanılmaktadır (Culver ve Rafferty, 1998; Gölcü, 2002; Kalkat ve Veli, 2019).

Dalgıç pompalar ile düşey milli pompalar arasındaki temel fark tahrik elemanının yerleştirildiği konumdur. Dalgıç pompa, su altında çalışmaya uygun elektrik motoruna monte edilmesinden meydana gelmiştir. Pompa miline güç aktarımı, özel olarak tasarlanmış yataklardan dalgıç motor aracılığı ile alttan aktarılır (Gölcü, 2002). Düşey milli pompalarda ise pompa miline güç aktarımı kuyu başından-yukarıdan sağlanır. Burada motor yeryüzündedir; pompa ise yeryüzünden aşağıya istenilen seviyeye kadar indirilebilir (Güneş ve Konuralp, 1998). Pompa tahrik elemanı olarak içten yanmalı motor da kullanılmaktadır. Düşey milli pompaların mil kesme, şanzıman bakımı, montajın zor olması ve gürültülü çalışması dezavantaj oluşturmaktadır.

Santrifüj pompaların çok kademeli olması tek kademeliye göre pompa gövdesinin toplam uzunluğunu etkiler (Zhou ve ark., 2018). Tek kademeli pompanın basma yüksekliği çok düşükse, toplam basma yüksekliğine (Zhou ve ark., 2014) ulaşmak için pompa kademeleri artırılmalıdır. Böyle bir durumda, pompa gövdesinin ve milin uzunluğunun uzatılması gerekir, bu da mekanik sıkıntılara ve kurulumun daha maliyet olmasına yol açar. Pompa tasarımındaki en önemli sorunlardan biri, hidrolik kayıpların nasıl azaltılacağı ve tek kademeli basma yüksekliğinin nasıl iyileştirileceğidir (Zhou ve ark., 2018). Yer altı sulamalarında kullanılan dalgıç ve milli tip pompaların aynı özelliklere sahip derin kuyu tasarımında hidrolik performansların karşılaştırılması pompa ve kuyu tasarımları için yol gösterecektir.

Bu çalışmada üç farklı anma çapına sahip dalgıç (D<sub>1</sub>-D<sub>2</sub>-D<sub>3</sub>) ve milli pompa (M<sub>1</sub>-M<sub>2</sub>-M<sub>3</sub>) tiplerinin, farklı debi değerlerinde (Q), kuyu su seviye düşümüne ( $\Delta$ ), gürültü seviyelerine (G), şebekeden çekilen güç (N) ve toplam dinamik yükseklik (TDY) değerlerine etkileri karşılaştırılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Materyal

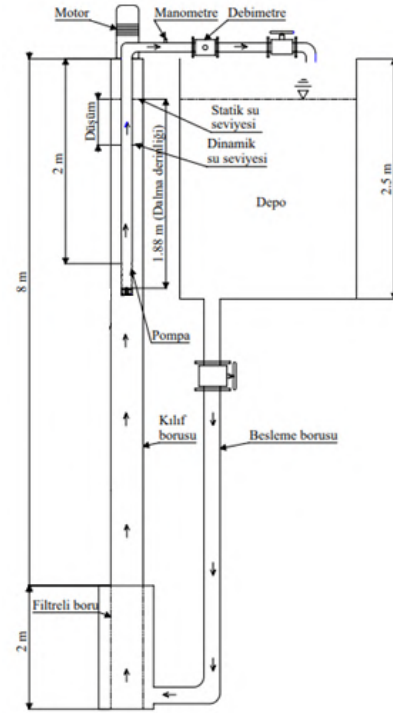
Pompa denemeleri; Selçuk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü'nde Prof. Dr. Şinasi YETKİN Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği Uygulama Atölyesi'nde yapılan Derin Kuyu Test Ünitesi'nde yürütülmüştür. Test ünitesine ait genel ölçüler ve bazı derin kuyu terminolojik ifadeler Şekil 1'de verilmiştir.

Derin kuyu ile depo arasına çapı 4" ve 6" olan iki adet boru bağlanarak kuyunun alttan beslenmesi sağlanmıştır.

Deneylerde kullanılan dalgıç ve düşey milli pompalara ait bazı teknik özellikler Tablo 1'de verilmiştir. Pompaların tahrik

edilmesi için kullanılan elektrik motorlarının teknik özellikleri ise Tablo 2'de verilmiştir.

Pompa deneme kombinasyonlarında 2000 mm uzunluğunda bir adet kolon borusu kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan ölçüm aletlerinin bazı teknik özellikleri Tablo 3'te verilmiştir.



Şekil 1. Derin kuyu test ünitesinin genel ölçüleri ve görünüşü

Tablo 2. Motorlara ait bazı teknik özellikler

Özellikleri	Dalgıç motor I	Dalgıç motor II	Milli motor
Marka	Suver	Watermot	Siemens
Tip	Dalgıç	Dalgıç	Asenkron
Güç(kW)	4	5.5	5.5
Gerilim (V)	380	380	380
Akım şiddeti (A)	9.2	13.6	11.1
Devir sayısı (d/d)	2869	2780	2910
Frekans (Hz)	50	50	50
Güç faktörü (cos $\phi$ )	0.86	0.84	0.85

Seçilen dalgıç pompaların güç gereksinimi küçük olduğundan motorların anma çapı da 6" ölçüsündedir. Oysa çalışmada kullanılan dalgıç pompalar 7" ve 8" dış çapa sahiptir. D<sub>1</sub> 6"lik pompasının tahrikinde dalgıç motor I kullanılmış; 7" ve 8"lik dalgıç pompaların tahrik edilmesinde ise, dalgıç motor II kullanılmıştır. Çalışmada, 7" ve 8"lik pompaların çapları ile motor çaplarını ayarlanmak için 7" anma çapındaki dalgıç pompada 7"lik, 8" dalgıç pompada ise 8"lik kılif (kovan) kullanılmıştır. Bunun sebebi ise pompa çapı ile motor çapını birbirine eşitleyerek, pompalar arasında aynı fiziksel şartları oluşturmaktır.

Tablo 1. Dalgıç ve milli pompaların pompa gruplarına ait bazı teknik özellik ve ölçüleri

Teknik özellikler	Dalgıç pompa boyutları			Milli pompa boyutları		
	78 (6")	105 (7")	128 (8")	78	105	128
Pompa dış çapı (mm)	Pik	Pik	Pik	Pik	Pik	Pik
Pompa gövde malzemesi	Pirinç	Pirinç	Pirinç	Pirinç	Pirinç	Pirinç
Pompa mil malzemesi	Paslanmaz çelik	Paslanmaz çelik	Paslanmaz çelik	Paslanmaz çelik	Paslanmaz çelik	Paslanmaz çelik
Su giriş alanı (mm <sup>2</sup> )	7200	9000	10800	7200	9000	10800
Pompa mili çapı (mm)	25	25	30	25	25	25
Pompa kademe sayısı	2	1	1	2	1	1
Klerens açıklığı (mm)	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5
Kanat sayısı (adet)	5	7	6	5	5	5
Kanat kalınlığı (mm)	5	5	5	5	5	5
Çark çıkış çapı (mm)	94.5	140	150	93.5	136	150
Çark çıkış genişliği (mm)	15	16	20	15	16	17.5

Tablo 3. Kullanılan ölçme aletlerinin bazı teknik özellikleri

Ekipman cinsi	Bazı teknik özellikleri
Debimetre	S MAG 100 TİP, DN 80-100-125 flanş bağlantılı elektromanyetik debimetre, 220 V beslemeli dijital göstergeli, anlık debi, yüzde akış ve toplam gösterimli. Ayarlanabilir 4-20 mA plus ve frekans çıkışlı. Ölçüm hatası %0.5
Manometre	WİKA, 0-10 bar, Alttan Bağlantılı, 4-20 mA çıkışlı.
Seviye ölçer	Hydrotechnik marka, 010 tip/1.5 V, 150 m'lik ölçeklendirilmiş kablolu, ses ve ışık ikazlı tip.
Gürültü ölçer	CT-2012 model, giriş 4 mA, DC 24V güç kaynağı çıkış göstergesi. Ölçüm aralığı:30-80 dB, 50-100 dB, 80-130 dB, çıkış 4-20 mA, 90-260 ACV 50Hz/60Hz, Çalışma sıcaklığı 0-50 °C
Sıcaklık sensörleri	Turck marka, 10-24 VDC, -50...100 °C, 4-20 mA çıkış.
Bilgisayar	Asus intel core i7.

## 2.2. Yöntem

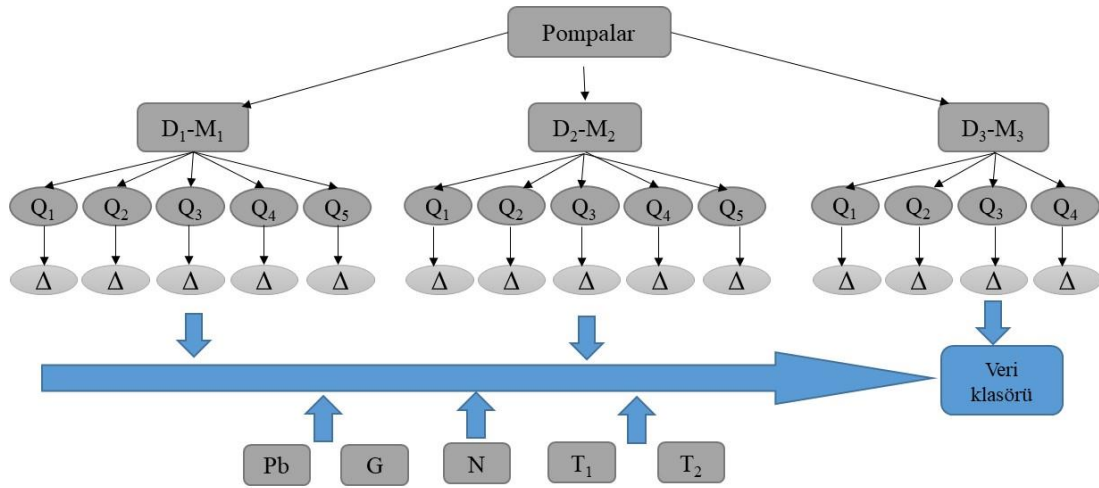
Denemelerde debi, pozitif basınç, şebekeden çekilen güç, akım şiddeti, gürültü, sıcaklıklar gibi fiziksel büyüklüklerin kaydedilmesi için yazılım ve otomasyon sistemi kullanılmıştır. Sensörler yardımıyla alınan bilgiler merkezi bir veri toplama kartı üzerinden kablosuz (Bluetooth) olarak bilgisayara aktarılmıştır. Kuyu su seviye ölçümleri, pompanın ilgili debide belli bir düzene girdikten sonra seviye ölçer ile ölçülerek kayıt dosyasına el ile girilmiştir.

Pompalar optimum çalışma devrinde ve her bir pompa değişik debi aralıklarında kuyu düşüm seviyeleri, gürültü seviyesi, şebekeden çekilen güç ve çıkış basınçları ölçülmüştür. Pompa belirlenen herhangi bir debi değerinde çalıştırılarak ilk değerler kayıt altına alındıktan sonra diğer debi değerinden ölçümler alınmıştır. Çalışmaya ait deneme planı Şekil 2'de verilmiştir.

Pompa denemeleri 1880 mm sabit hidrolik yük altında gerçekleştirilmiştir. Pompa işletme karakteristiklerinin ölçülmesinde ve yapılan hesaplamalarda ilgili standartlar ve literatür dikkate alınmıştır (Tezer, 1978; Baysal, 1979; Atmaca, 1998; Karassik ve ark., 2001; Anonim, 2002; Çalışır, 2009). Gürültü seviyesi, gürültü ölçme cihazı ile kule kumanda merkezi platformundan pompa kolon ile kapalı teçhiz borusu arasındaki boşluktan ölçülmüştür (Čdina, 2003; Čdina ve Prezelj, 2009; Maxime ve Chen Li, 2015).

D<sub>1</sub>-M<sub>1</sub> kombinasyonunda farklı motor güçleri kullanıldığı için pompaların şebekeden çektikleri güç bakımından karşılaştırılmaları yapılmamıştır. Pompa tiplerinin düşüm üzerine olan etkisinin istatistikî bakımından önemli olup olmadığı konusundaki varyans analizleri yapılmıştır.

Denemeler süresince ortalama ortam sıcaklığı 17 °C ve suyun ortalama sıcaklığı ise 14 °C olarak ölçülmüştür. Pompa denemelerin hepsi 1880 mm sabit hidrolik yük altında ve 890 mm statik su seviyesinde başlanmıştır. Pompaların farklı debi değerlerinde gerçekleşen düşüm değerleri ( $\Delta$ ), gürültü seviyeleri (G) ve toplam dinamik yükseklik (TDY) değerleri ölçülmüş ve karşılaştırılmıştır.

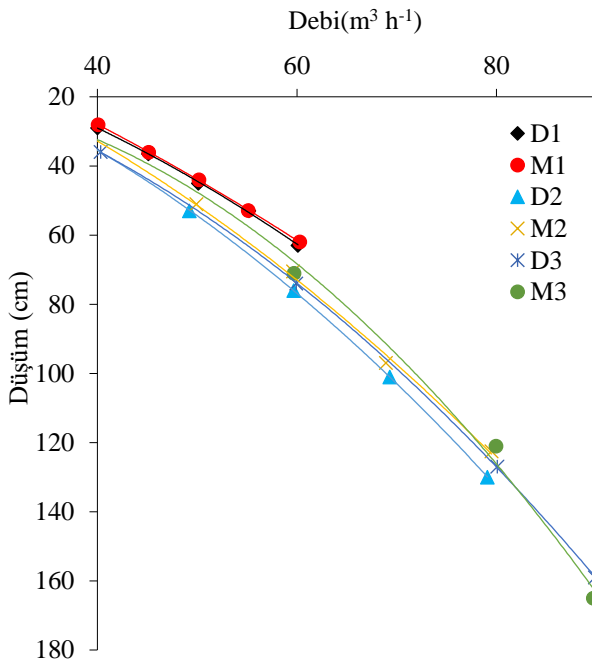


Şekil 2. Deneme deseni

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

#### 3.1. Pompa tiplerinin düşüm üzerine etkisi

Kuyu besleme borularının tam açık olduğu konumda dalgıç ve milli pompalarının debi-düşüm ilişkisi Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. Pompaların debi ile düşüm arasındaki ilişkisi

Pompa tiplerinin her birinde debi attıkça düşüm değerleri yükselmiştir. Pompa anma çapı arttıkça düşüm seviyeleri genel olarak yükselmiştir. Örneğin D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub> ve D<sub>3</sub> pompa tiplerinde 40 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup> debi değerinde sırası ile 29 cm, 34 cm ve 36 cm düşüm gerçekleşmiştir. D<sub>1</sub>-M<sub>1</sub>, D<sub>2</sub>-M<sub>2</sub> ve D<sub>3</sub>-M<sub>3</sub> pompa tiplerinde farklı debi değerlerinde meydana gelen düşüm seviyelerine yapılan varyans analiz sonuçları Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Dalgıç (D<sub>1</sub>-D<sub>2</sub>-D<sub>3</sub>) ve Milli (M<sub>1</sub>-M<sub>2</sub>-M<sub>3</sub>) pompa tipi ve debinin, düşüm değerlerine ait varyans analiz sonuçları

		SD	P
		PT(Pompa tipi)	1
D <sub>1</sub> -M <sub>1</sub>	Q (Debi)	4	0.000**
	PT x Q	4	0.337*
	Hata	20	---
	Genel	29	---
D <sub>2</sub> -M <sub>2</sub>	PT(Pompa tipi)	1	0.000**
	Q (Debi)	4	0.000**
	PT x Q	4	0.000*
	Hata	20	---
	Genel	29	---
D <sub>3</sub> -M <sub>3</sub>	PT(Pompa tipi)	1	0.000**
	Q (Debi)	4	0.000**
	PT x Q	4	0.000*
	Hata	20	---
	Genel	29	---

Tablo 4 incelendiğinde, D<sub>1</sub>-M<sub>1</sub> kombinasyonlarının debi ve pompa tipinin tekli olarak düşüm üzerine etkisi istatistik açıdan çok önemli (p<0.01) olduğu ikili etkisiyle istatistik açıdan önemli (p<0.01) olduğu ikili etkisiyle istatistik açıdan önemli (p<0.01) bulunmuştur (p>0.05). D<sub>2</sub>-M<sub>2</sub> ve D<sub>3</sub>-M<sub>3</sub> kombinasyonlarında ise debi ve pompa tipinin tekli ve ikili etkilerinin her ikisinin de düşüm üzerinde istatistik açıdan çok önemli (p<0.01) olduğu görülmüştür.

Denemeleri yapılan D<sub>1</sub>-M<sub>1</sub>, D<sub>2</sub>-M<sub>2</sub> ve D<sub>3</sub>-M<sub>3</sub> pompaların birbirleri arasında karşılaştırmaları sonuçları Tukey testi yapılarak Tablo 5'te sonuçlara ait değerler verilmiştir.

Tablo 5. Dalgıç ( $D_1$ - $D_2$ - $D_3$ ) ve Milli ( $M_1$ - $M_2$ - $M_3$ ) pompa tipi ve debiler arasındaki farklılıklara göre elde edilen düşüm değerlerine (cm) uygulanan Tukey testi sonuçları

	Q	$D_1$	$M_1$	Q- $\Delta$
$D_1$ - $M_1$	40	29.00 <sup>c</sup>	28.13 <sup>c</sup>	28.57 <sup>c</sup>
	45	36.33 <sup>d</sup>	36.00 <sup>d</sup>	36.17 <sup>d</sup>
	50	45.00 <sup>c</sup>	44.00 <sup>c</sup>	44.50 <sup>c</sup>
	55	53.00 <sup>b</sup>	53.00 <sup>b</sup>	53.00 <sup>b</sup>
	60	62.90 <sup>a</sup>	61.93 <sup>a</sup>	62.42 <sup>a</sup>
	PT- $\Delta$	45.25 <sup>a</sup>	44.61 <sup>b</sup>	
	Q	$D_2$	$M_2$	Q- $\Delta$
$D_2$ - $M_2$	40	34.00 <sup>i</sup>	33.00 <sup>i</sup>	33.50 <sup>c</sup>
	50	53.17 <sup>g</sup>	51.17 <sup>h</sup>	52.17 <sup>d</sup>
	60	76.00 <sup>c</sup>	70.33 <sup>f</sup>	73.17 <sup>c</sup>
	70	101.00 <sup>c</sup>	97.00 <sup>d</sup>	99.00 <sup>b</sup>
	80	129.83 <sup>a</sup>	122.5 <sup>b</sup>	126.17 <sup>a</sup>
	PT- $\Delta$	78.80 <sup>a</sup>	74.80 <sup>b</sup>	
	Q	$D_3$	$M_3$	Q- $\Delta$
$D_3$ - $M_3$	40	36.00 <sup>g</sup>	31.00 <sup>h</sup>	33.50 <sup>d</sup>
	60	74.00 <sup>c</sup>	71.00 <sup>f</sup>	72.50 <sup>c</sup>
	80	127.00 <sup>c</sup>	120.83 <sup>d</sup>	123.92 <sup>b</sup>
	90	159.83 <sup>b</sup>	164.83 <sup>a</sup>	162.08 <sup>a</sup>
	PT- $\Delta$	99.08 <sup>a</sup>	96.92 <sup>b</sup>	

$D_1$ - $M_1$  pompaları incelendiğinde pompa tipinde de debi arttıkça düşüm değerlerinin arttığı görülmektedir. Sabit debi değerlerinde dalgıç pompanın neden olduğu düşüm, milli pompadan daha büyük tespit edilmiştir. Ancak bu durum tüm debi değerlerinde istatistiki bakımdan önemsiz çıkmıştır.  $D_1$  ile  $M_1$  pompa tipinin tüm debi değerlerinde elde edilen düşüm değerlerinin ortalamaları ise istatistiki olarak önemli bulunmuştur.

Pompa tipi ve düşüm değerleri  $D_2$ - $M_2$  pompalarında da debinin artmasına bağlı olarak düşüm değerlerinin de artmasına neden olmuştur. Sabit debi değerlerinde dalgıç pompanın neden olduğu düşüm, milli pompa göre daha büyük olduğu belirlenmiştir. Aynı zaman da bu durum 40 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup> debi değeri hariç diğer debi değerlerinde istatistiki bakımdan önemli olduğu görülmüştür. Pompa tiplerinin tüm debi değerlerinde elde edilen en fazla düşüm değeri 78.8 cm ile  $D_2$  tipinde olmuş ve aralarındaki fark istatistiki olarak önemli çıkmıştır.

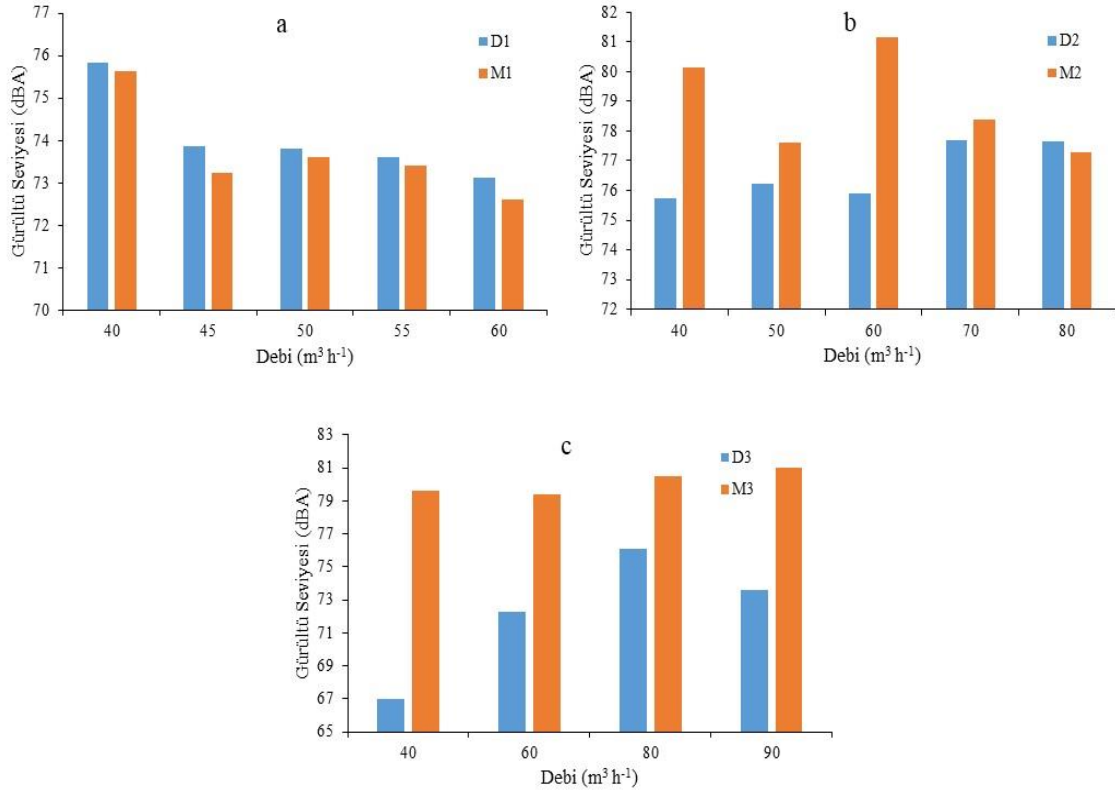
$D_3$ - $M_3$  pompa tiplerinde elde edilen düşüm değerleri ortalamaları ve uygulanan Tukey testi sonuçlarını inceleyecek olursak; sabit debi değerlerinde 90 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup> debi değeri hariç diğerlerinde dalgıç pompanın neden olduğu düşüm, milli pompadan daha büyük olmuştur. Pompa tiplerinin tüm debi

ortalamaları bakımından ise diğer pompalarda olduğu gibi dalgıç pompada en fazla düşüm (99.08 cm) gerçekleşmiştir.

Pompa tipleri bakımından dalgıç pompada milli pompaya göre daha fazla düşüm gerçekleşmiştir. Bunun sebebini dalgıç pompanın sabit kuyu teçhiz borusunda milli pompaya göre kuyu kesit alanını daha fazla daraltmasına bağlayabiliriz. Benzer sonuçları Ertöz (1996) de belirtmiş ve sebebini dalgıç pompanın kuyu teçhiz borusunu daraltmasından dolayı kuyudaki suyun pompaya giriş hızını artırmasına bağlamıştır. Kurt ve Çalışır (2017)'de çalışmalarında benzer pompalarda kuyunun üstten beslenmesi durumunda dalgıç pompalarda milli pompalara göre daha fazla düşüm elde ettiklerini bildirmişlerdir.

### 3.2. Pompa Tiplerinin Gürültü Seviyesi Üzerine Etkisi

Kuyu besleme borularının tam açık olduğu durumda, pompa tiplerinin farklı debilerde gürültü seviyesine (G) etkisi Şekil 4'de verilmiştir.



Şekil 4. Pompa tiplerinin farklı debilerde gürültü seviyesine etkisi

D<sub>1</sub> ve M<sub>1</sub> pompa tipinde en yüksek gürültü seviyesi 40 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup> debi değerinde elde edilmiştir (Şekil 4a). Pompa tipleri bakımından D<sub>1</sub> ve M<sub>1</sub> 'de gürültü seviyeleri ortalamaları sırası ile 74.04 ve 73.07 dBA olarak bulunmuştur. D<sub>1</sub> pompasının gürültü seviyesi M<sub>1</sub> pompa tipine göre yüksek çıkmıştır.

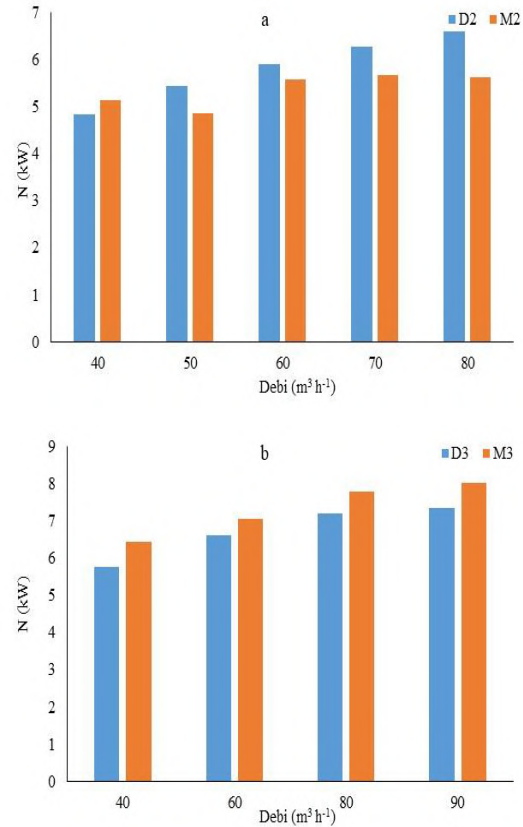
D<sub>2</sub> pompa tipinde en yüksek gürültü seviyesi 60 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup> debi değerinde elde edilirken, D<sub>2</sub> pompa tipinde ise 80 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup> debi değerinde en yüksek gürültü seviyesi elde edilmiştir (Şekil 4b). D<sub>2</sub> ve M<sub>2</sub> pompa tiplerinde gürültü seviyeleri ortalamaları sırasıyla 76.64 ve 78.91 dBA olarak ölçülmüştür. Bu pompa tiplerinde milli pompanın gürültü seviyesi daha yüksek çıkmıştır.

D<sub>3</sub> ve M<sub>3</sub> pompa tiplerinde en yüksek gürültü seviyeleri sırasıyla 80 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup> ve 90 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup> debi değerlerinde elde edilmiştir. D<sub>3</sub> ve M<sub>3</sub> pompa tiplerinin gürültü seviyeleri ortalamaları ise sırası ile 72.24 ve 80.12 dBA' dir.

Pompa anma çapı arttıkça milli pompaların dalgıç pompalara göre daha fazla gürültülü çalıştığını söyleyebiliriz. Bu durumu milli pompaların motor grubunun su seviyesinin üstünde olmasına ve pompa kolon borusunun mil yataklarından, yatak sürtmelerinden gelen sese bağlayabiliriz.

### 3.3. Pompa Tiplerinin Şebekeden Çekilen Güç Üzerine Etkisi

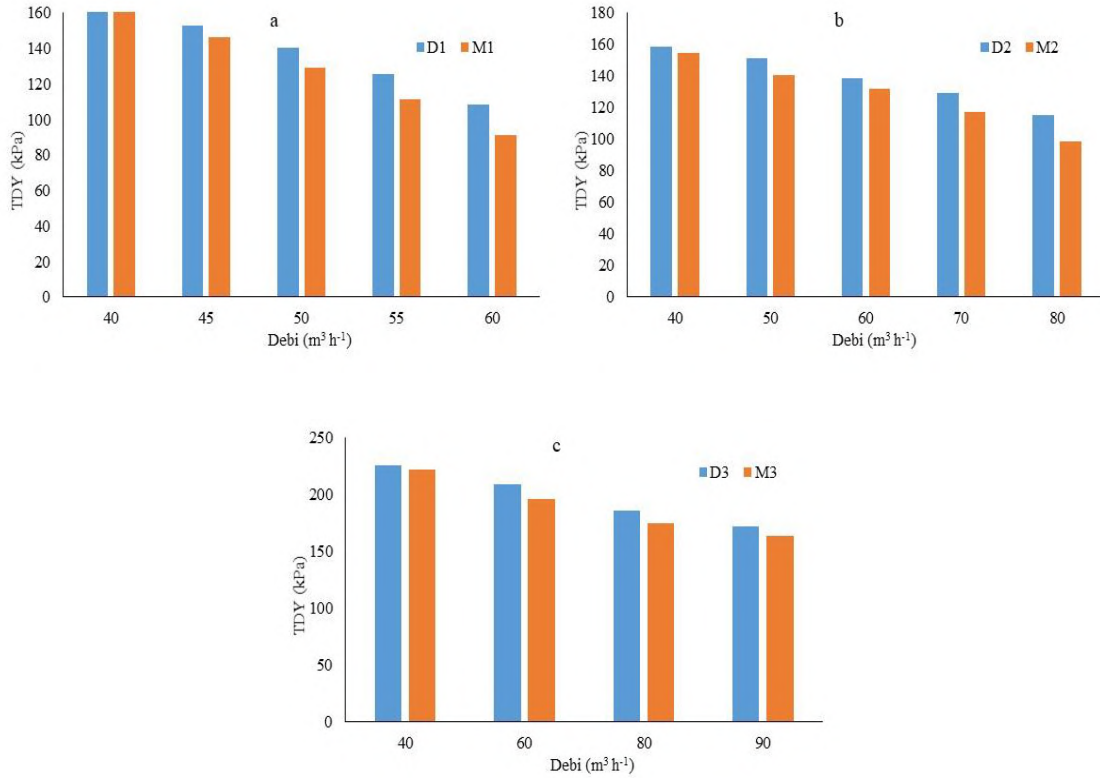
D<sub>2</sub>-M<sub>2</sub> ve D<sub>3</sub>-M<sub>3</sub> pompa tipleri için 5.5 kW gücündeki dalgıç ve milli motor kullanıldığından bu iki grup arasında karşılaştırma yapılmıştır (Şekil 5).



Şekil 5. Pompa tiplerinin farklı debilerde şebekeden çekilen güç üzerine etkisi

Pompa tiplerinin her birinde genel olarak debi değeri arttıkça şebekeden çekilen güç değeri de artış göstermiştir. D<sub>2</sub>-M<sub>2</sub> pompa tiplerini incelediğimizde (Şekil 5a) dalgıç pompa 50 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup> debi değerinin dışında tüm debi değerlerinde milli pompaya göre fazla güç çekmiştir. D<sub>3</sub>-M<sub>3</sub> pompa tiplerinde ise tüm debi değerlerinde milli pompa dalgıç pompaya göre daha fazla güç çekmiştir. D<sub>2</sub>-M<sub>2</sub> pompa tiplerinin tüm debi değerlerinde şebekeden çektikleri ortalama güç değeri dalgıç pompada 5.81 kW milli pompada 5.36 kW hesaplanmıştır. D<sub>3</sub>-M<sub>3</sub> pompa tiplerinin şebekeden çektikleri ortalama güç değerleri ise dalgıç pompada 6.75 kW, milli pompada 7.31 kW ölçülmüştür.

### 3.4. Pompa Tiplerinin Toplam Dinamik Yükseklik (TDY) Üzerine Etkisi



Şekil 6. Pompa tiplerinin toplam dinamik yükseklik (TDY) üzerindeki etkisi

## 4. Sonuç

Aynı tip pompalarda pompa anma çapının artması düşüm seviyelerinde genel olarak artış göstermiştir. Dalgıç pompaların tüm tiplerinde milli pompaya göre daha fazla düşüm gerçekleşmiştir. Dalgıç pompalarda motorun kuyu kesit alanını daraltmasının düşüm üzerine etkili olduğu ortaya çıkmıştır.

D<sub>1</sub>-M<sub>1</sub> pompa tipinde dalgıç pompada, D<sub>2</sub>-M<sub>2</sub> ve D<sub>3</sub>-M<sub>3</sub> pompa tiplerinde ise milli pompalarda daha yüksek gürültü seviyesi çıkmıştır. Anma çapının artması milli pompaların dalgıç pompalara göre daha gürültülü çalışmasına sebep olmuştur.

Tüm debi değerlerinin ortalamasında, D<sub>2</sub>-M<sub>2</sub> pompa tiplerinde dalgıç pompa milli pompaya göre %8.4 daha fazla elektrik enerjisi çekerken, D<sub>3</sub>-M<sub>3</sub> pompa tiplerinde ise milli pompa dalgıç pompaya göre %8.3 daha fazla elektrik enerjisi çekmiştir. D<sub>2</sub>-M<sub>2</sub> pompa tiplerinde şebekeden çektikleri güç

Kuyu besleme borularının tam açık olduğu konumda pompa tiplerinin farklı debilerde geliştirdikleri toplam dinamik yükseklikler Şekil 6'da verilmiştir.

Şekil 6 incelendiğinde tüm debi seviyelerinde dalgıç pompalarda milli pompalara göre daha yüksek TDY değerleri olduğu görülmektedir. Pompa tiplerinin tümünde debi arttıkça TDY düzeyleri azalmıştır. Pompaların TDY açısından aralarındaki en fazla fark D<sub>1</sub>-M<sub>1</sub> pompalarında 17.4 kPa ile 60 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup> debi değerinde gerçekleştiği tespit edilmiştir. D<sub>2</sub>-M<sub>2</sub> pompalarında bu fark 16.9 kPa ile 80 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup> debi değerinde ve D<sub>3</sub>-M<sub>3</sub> pompalarında ise 12.6 kPa ile 60 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup> debi değerinde elde edilmiştir.

bakımından milli pompanın kullanılmasının, D<sub>3</sub>-M<sub>3</sub> pompa tipinde ise dalgıç pompanın kullanılması daha uygun olacaktır.

Pompa tiplerinin tamamında dalgıç pompada milli pompaya göre daha fazla toplam dinamik yükseklik değeri elde edildi.

Genel olarak değerlendirdiğimizde aynı çalışma şartlarında pompaların sağladığı toplam dinamik yükseklik ve şebekeden çektikleri güç bakımından dalgıç pompaların tercih edilmesi uygun olacaktır. Ayrıca pompaların ilk satın alma maliyeti ve işletmenin enerji gideri bakımından dalgıç pompalar tercih edilebilir.

## 5. Teşekkür

Bu çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK, Proje No: 213O140) tarafından desteklenmiştir. Bu çalışmaya katkıda bulunan merhum Prof. Dr. Sedat ÇALIŞIR Hocamıza teşekkür ederiz.



## Kaynakça

- Anonim, 2002. Rotodinamik Pompalar–Hidrolik Performans Kabul Deneyleri,Sınıf 1 ve Sınıf 2. Türk Standardları Enstitüsü, Ankara. TS EN ISO 9906.
- Anonim, 2019. 2019 Faliyet Raporu. <http://www.dsi.gov.tr/docs/stratejik-plan/dsi-2019-faliyet-raporu.pdf?sfvrsn=2> (Erişim tarihi: 05.08.2020).
- Atmaca, S., 1998. Dalgıç Pompalara Uygulanan Pompa Kabul Deneyleri, 3, *Pompa Kongresi*, 24-26 Eylül, İstanbul, s.10-15.
- Baysal, K., 1979. Tam santrifüj pompalar: hesap, çizim ve konstrüksiyon özellikleri, İstanbul Teknik Üniversitesi, s. 24.
- Čdina, M., 2003. Detection of cavitation phenomenon in a centrifugal pump using audible sound, *Mechanical systems and signal processing*, 17 (6), 1335-1347.
- Čudina, M., Prezelj, J., 2009. Detection of cavitation in operation of kinetic pumps. Use of discrete frequency tone in audible spectra, *Applied Acoustics*, 70 (4), 540-546.
- Culver, G., Rafferty, K. D., 1998. Well Pumps, *Geo-Heat Center*, pp 7-13.
- Çalışır, S., 2009. 14. Bölüm Sulamada Pompaj Tesisleri, Tarım Makineleri, Edt: Gazanfer., E., Ankara: Nobel Yayın Dağıtım, s. 544.
- Ertöz, A., 1996, Yer altı suları pompaj ekonomisi ve pompa seçimine etki eden faktörler. 2. *Pompa Kongresi*, 3-5 Nisan, s. 24-33.
- Gölcü, M., 2002, Üç Kademeli Dalgıç Pompaların Performans Eğrilerinin İncelenmesi, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 8 (2), 149-154.
- Güneş, M. T., Konuralp, O., 1998, Dik Türbin Pompaların Testleri ve Kabul Kriterleri. 3. Pompa Kongresi. 24-26 Eylül, İstanbul, s. 16-22.
- Kalkat, M., Veli, T., 2019, Dalgıç Pompalarda Yapay Sinir Ağları Kullanılarak Deneysel Akış Analizi, *Konya Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7, 895-908.
- Karassik, I. J., Messina, J. P., Cooper, P., Heald, C. C., 2001, Pump handbook, McGraw-Hill New York, pp. 1824
- Kurt, M., Çalışır, S., 2017, Derin Kuyu Pompalarında Anma Çapının Kuyudaki Su Seviyesinin Düşümüne Etkisi, *Selçuk Tarım Bilimleri Dergisi*, 3 (2), 291-297.
- Maxime, B., Chen Li, F., 2015, Cavitation effects in centrifugal pumps-A review, *Int. Journal of Engineering Research and Application*, 10, 8.
- Tezer, E., 1978, Sulamada Pompaj Tesisleri (proje, seçim ve işletme yöntemleri), Cilt 1-2-3. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, Adana.
- Zhou, L., Shi, W., Lu, W., Hu, B., and Wu, S., 2012, Numerical investigations and performance experiments of a deep-well centrifugal pump with different diffusers, *Journal of Fluids Engineering*, 134, (7).
- Zhou, L., Bai, L., Shi, W., Li, W., Wang, C., and Ye, D., 2018, Numerical analysis and performance experiment of electric submersible pump with different diffuser vanes number. *Journal of The Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 40(2), 1-11.



# Dünya’da ve Türkiye’de “Döngüsel Ekonomi / Endüstriyel Sürdürülebilirlik” Yaklaşımı

Şenay Balbay<sup>1</sup>, Adem Sarihan<sup>2</sup>, Edip Avşar<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, Atık Yönetimi, Bilecik, Türkiye (ORCID: 0000-0002-0016-7973), [senay.balbay@bilecik.edu.tr](mailto:senay.balbay@bilecik.edu.tr)

<sup>2</sup> Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, Kimya Teknolojisi, Bilecik, Türkiye (ORCID: 0000-0003-1809-7034), [adem.sarihan@bilecik.edu.tr](mailto:adem.sarihan@bilecik.edu.tr)

<sup>3</sup> Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, Atık Yönetimi, Bilecik, Türkiye (ORCID: 0000-0001-6249-4753), [edip.avsar@bilecik.edu.tr](mailto:edip.avsar@bilecik.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 13 Temmuz 2021 ve Kabul Tarihi 20 Eylül 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.971172)

**ATIF/REFERENCE:** Balbay, S., Sarihan, A., Avsar, E. (2021). “Circular Economy / Industrial Sustainability” Approach in the World and in Turkey, *European Journal of Science and Technology*, (27), 557-569.

## Öz

Dünya Ekonomik Formu’nun istatistikleri incelendiğinde özellikle 2017 ve sonrası olağandışı hava olayları, iklim değişikliği, doğal afetler ve çevre problemleri gibi riskler, en önemli küresel risklerdir ve ilk sıralarda yer almaktadır. Aynı zamanda 2008 yılında Dünya ekonomisinin çöküşü endüstrilerin sürdürülebilirliklerini sağlayabilmeleri için endüstriyel simbiyoz ve döngüsel ekonomi çalışmalarını gerçekleştirmelerini zorunlu hale getirmiştir. Bu nedenle artan sanayileşme ve kaynak tüketiminin yaşadığımız ekosistemi tehdit ettiği günümüzde kaynakların ekonomik kullanılması, kirliliğin kaynağında önlenmesi ve azaltılması hususları büyük önem arz etmektedir. Hükümetler, şirketler ve toplumlar hem israfi ortadan kaldırmak hem de atıkların toplum üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmanın yolunu döngüsel ekonomiye başvurarak aramaktadırlar. Her yıl 100 milyar tondan fazla kaynak ekonomiye aktarılırken, bunların %60’ından fazlası atık olarak ve iklim krizinin tetikleyicilerinden biri olan sera gazı emisyonu salınımında artış ile sonuçlanmaktadır. Döngüsel ekonomi, atıkların bertarafı yerine uygun süreçler yoluyla üretime tekrar üretim sürecine dâhil edilerek ekonomik değere dönüşmelerini sağlayan bir süreçtir. Çalışmanın amacı, dünyada ve ülkemizdeki sanayi kuruluşları ve dernekler tarafından yapılan bilgilendirme çalışmaları ve literatürde konuyla ilgili yapılan çalışmalar vasıtasıyla döngüsel ekonomi kavramı açıklanarak ülkemizdeki son durumun değerlendirilmesidir. Çalışmanın hedefi Türkiye’de Döngüsel Ekonomi uygulanabilirliğinin durumunun PEST ve SWOT analizleri gerçekleştirilerek ortaya konmasıdır. Türkiye’de Döngüsel Ekonomi, 2019 yılından itibaren sürdürülebilirlik adı altında uygulanmaya başlanmıştır. 2021 yılı başından itibaren pandeminin etkisi, iklim değişikliği ve kuraklıklar (yüksek sıcaklıklar) nedeniyle AB’nin Yeşil Mutabakatı zorunlu tutması nedeniyle bu kavram oldukça gündemdedir. Sonuç olarak Dünya çapında yoğun olarak işleyen bu sürece ülkemizde de gereken önem verilmeli ve bir an önce gerekli önlemler alınarak uygulamaya geçmelidir.

**Anahtar Kelimeler:** Döngüsel Ekonomi, Sürdürülebilirlik, Atık Yönetimi, Simbiyoz, Enerji.

## “Circular Economy / Industrial Sustainability” Approach in the World and in Turkey

### Abstract

When the statistics of the World Economic Forum are examined, risks such as unusual weather events, climate change, natural disasters and environmental problems are the most important global risks, especially after 2017 and ranks first. At the same time, the collapse of the world economy in 2008 made it necessary for industries to carry out industrial symbiosis and circular economy studies in order to ensure their sustainability. Therefore, in today's world, where increasing industrialization and resource consumption threaten the ecosystem we live in, economic use of resources, prevention and reduction of pollution at the source are of great importance. Governments, companies and societies are looking for ways to both eliminate waste and reduce the negative effects of waste on society by resorting to the circular economy. While more than 100 billion tons of resources are transferred to the economy every year, more than 60% of them are waste and result in an increase in greenhouse gas emissions, which is one of the triggers of the climate crisis. Circular economy is a process that enables wastes to be turned into economic value by re-introducing them into production through appropriate processes instead of disposal. In this study, the concept of circular economy has been explained and the latest situation in our country has been evaluated by means of informative studies conducted by industrial organizations and associations in the world and in our country, and studies on the subject in the literature. The aim of the study is to evaluate the latest situation in our country by explaining the concept of circular economy through informative studies conducted by industrial organizations and associations in the world and in our country, and studies on the subject in the literature. The focus of the study is to reveal the state of Circular Economy applicability in Turkey by performing PEST and SWOT analyzes. Circular Economy in Turkey has been implemented since 2019 under the name of sustainability. From the beginning of 2021, this model is quite the agenda as mandated the Green Deal of the EU due to the effect of the pandemic, climate change and droughts (high temperatures). As a result, due importance should be given to this process, which operates intensively around the world, in our country and necessary measures should be taken and implemented as soon as possible

**Keywords:** Circular Economy, Sustainability, Waste Management, Symbiosis, Energy.

## 1. Giriş

Sanayi Devrimi'ne bağlı olarak her geçen gün daha da gelişen teknoloji ve kentsel nüfus artışı, çarpık kentleşme ve hazır tüketimdeki talebi beraberinde getirerek kentsel atıkların önemli miktarda artmasına neden olmaktadır. Bu süreç başta doğal kaynakların tükenmesi ve iklim değişikliği olmak üzere birçok olumsuz çevresel etkilere yol açmaktadır (Standart, 2018). Son yıllarda iklim değişikliğine neden olan etmenler ve iklim değişikliğinden kaynaklanan olaylar Dünya Ekonomik Formu'nun öncelikleri arasında yer almaktadır. Şekil 1'de Dünya Ekonomik Formunun istatistiklerine göre en önemli küresel risklerin 2007-2021 yılları arasındaki sıralaması ve değişimleri verilmiştir. Sanayileşmenin sonucu olarak gözle görülür ve hissedilir hale gelen çevresel sorunlar ve buna bağlı olarak ortaya çıkan iklim değişikliği, 2011 yılından itibaren daha fazla önem kazanmıştır. Son yıllar (2017 ve sonrası) incelendiğinde ise olağandışı hava olayları, iklim değişikliği, doğal afetler ve çevre problemleri gibi riskler, en önemli küresel risklerdir ve ilk sıralarda yer almaktadır (Sapmaz Veral, E, 2019). Özellikle, 2020-2021 yıllarında Covid-19 pandemi sürecinin tüm dünyayı etkisi altına alması ve etkisinin hâlâ devam etmesine rağmen, 2021 yılında en önemli ilk üç riskin iklimsel ve çevresel problemlere dayalı olması, bu risklerin küresel anlamdaki boyutunun ne seviyede olduğunu oldukça net bir biçimde ortaya koymaktadır. Bu kapsamda iklim riskinin, önümüzdeki on yıllarda en büyük yatırım ve etki fırsatlarından bazılarının önünü açacağı öngörülmektedir.

2008 yılında istikrarsız bir finansal sistem, dünya ekonomisinin patlayarak çöküşünü hızlandırmıştır. Gerçek ücretler son on yıldır durgun ya da düşmeye devam etmektedir. Bu durum, ürün ve hizmet satan şirketler arasında yoğun rekabete ve çevresel veya sosyal açıdan zararsız ürünler için olumsuz bir piyasa konumuna (bunlar genellikle daha pahalıdır) neden olmuştur. Önümüzdeki 20 - 30 yıl içinde pazara girecek 3 milyar yeni müşteri, mevcut doğrusal yöntemlerle devam edilmesi durumunda kaynak tabanına muazzam bir baskı uygulayacaktır. Bu nedenle endüstrilerin, sürdürülebilirliklerini sağlayabilmeleri için endüstriyel simbiyoz ve döngüsel ekonomi çalışmalarını gerçekleştirmeleri zorunludur (Bkz. Şekil 2) "Endüstriyel Simbiyoz", bir firmanın üretim kaynaklı çıkan atıklar veya fazla enerjisinin (atık ısı gibi) diğer başka bir firma için hammadde (veya ikincil hammadde) veya enerji kaynağı olarak kullanılmasıdır. Bu sistemin işlemesi için oluşturulan sistem ise "Atık Borsası" olarak adlandırılmaktadır. "Endüstriyel Simbiyoz" ve "Atık Borsası" aynı zamanda "Sıfır Atık Projesi" de detseklemektedir. "Sıfır Atık Projesi", kaynakların verimli kullanılarak israfın ve atık oluşumunun önlenmesi veya azaltılmasına bağlı olarak minimum çıkan atığın kaynağında ayrı toplanarak geri kazanımının sağlanmasıdır. "Döngüsel Ekonomi Uygulama Sistemi", "Endüstriyel Simbiyoz"un gerçekleştirilmesinin yanı sıra enerji verimliliği, yenilenebilir enerji kullanımı, hammadde/malzeme verimliliği için üretimde dijital tasarım yapılması, ürünün kullanım ömrünü uzatmak için ürün tasarımlarının yapılması, tedarik zincirlerinde metod mühendisliği yapılarak enerji verimliliği, karbon emisyonu azaltılması ve zaman tasarrufu sağlanmasıdır. "Döngüsel Ekonomi Uygulama Sistemi"ni ISO 14001:2015 Çevre Yönetim Sistemi desteklemektedir. Çevre Yönetim Sistemi (ÇYS), kuruluşun ürün ve hizmetlerinin tasarım, üretim, dağıtım, tüketim ve bertaraf etme yöntemlerinin yaşam döngüsü yaklaşımını kullanarak kontrol etmektedir. Kuruluşların çevreye verdikleri

zararı azaltmak ve sürdürülebilirliğe katkı sağlamak için sistematik bir yaklaşım sunmaktadır (Balbay, 2020). Yeşil Mutabakat, 2050 yılına kadar sıfır sera gazı emisyonu, ekonomik büyümeyi kaynak kullanımından ayırmak gibi ana hedeflere sahiptir. Emisyonları azaltırken iş imkânları yaratacak ve yaşam kalitesini artıracaktır. Belirlenen hedefler dâhilinde büyüme stratejisi 7 politika alanı altında oluşturulmuştur: i) temiz enerji, ii) sürdürülebilir sanayi, iii) bina ve yenileme, iv) tarladan sofraya, v) kirliliği ortadan kaldırma, vi) sürdürülebilir hareketlilik ve vii) biyolojik çeşitlilik.

Çalışmanın amacı, dünyada ve ülkemizdeki sanayi kuruluşları ve dernekler tarafından yapılan bilgilendirme çalışmaları ve literatürde konuyla ilgili yapılan çalışmalar vasıtasıyla döngüsel ekonomi kavramı açıklanarak ülkemizdeki son durumun değerlendirilmesidir. Çalışmanın hedefi Türkiye'de Döngüsel Ekonomi uygulanabilirliğinin durumunun PEST ve SWOT analizleri gerçekleştirilerek ortaya konmasıdır.

## 2. Döngüsel Ekonomi Nedir?

Dünyada gıda ve hammadde fiyatları büyük ölçüde dalgalanmaktadır ve özellikle 2002 yılına kadar olan döneme göre dikkat çekici bir şekilde daha yüksek seviyelerdedir. Bu durum ekonomideki harcamaları baskıladığından dolayı müşteriden tedarikçiye kadar kaynakla ilgili sorunlar oluşturmasına bağlı olarak Doğrusal Ekonomide iş hacmi oluşturulması için gerekli olan ucuz malzemeler, ucuz enerji ve ucuz kredi sağlamayı daha sorunlu hale getirmektedir. Bundan dolayı özellikle Avrupa Birliği ülkeleri doğrusal ekonomi modelinden döngüsel ekonomi modeline geçiş süreçlerini hızlandırmışlardır.

Doğrusal ekonomide al-kullan-at modeli uygulanırken döngüsel ekonomide tüm kaynakların (enerji, hammadde, su gibi) uzun süre kullanımı esastır. Günümüz dünyasında doğrusal ekonomi bazı nedenlerden dolayı iyi işlememektedir. Bu durum; i) su, yiyecek ve fosil yakıtlar gibi kaynaklara ulaşım giderek zorlaşmakta, ii) dünya çapında biyolojik çeşitlilik azalmakta ve iii) finansal sistem neredeyse tüm ekonomiyi çökertmektedir.

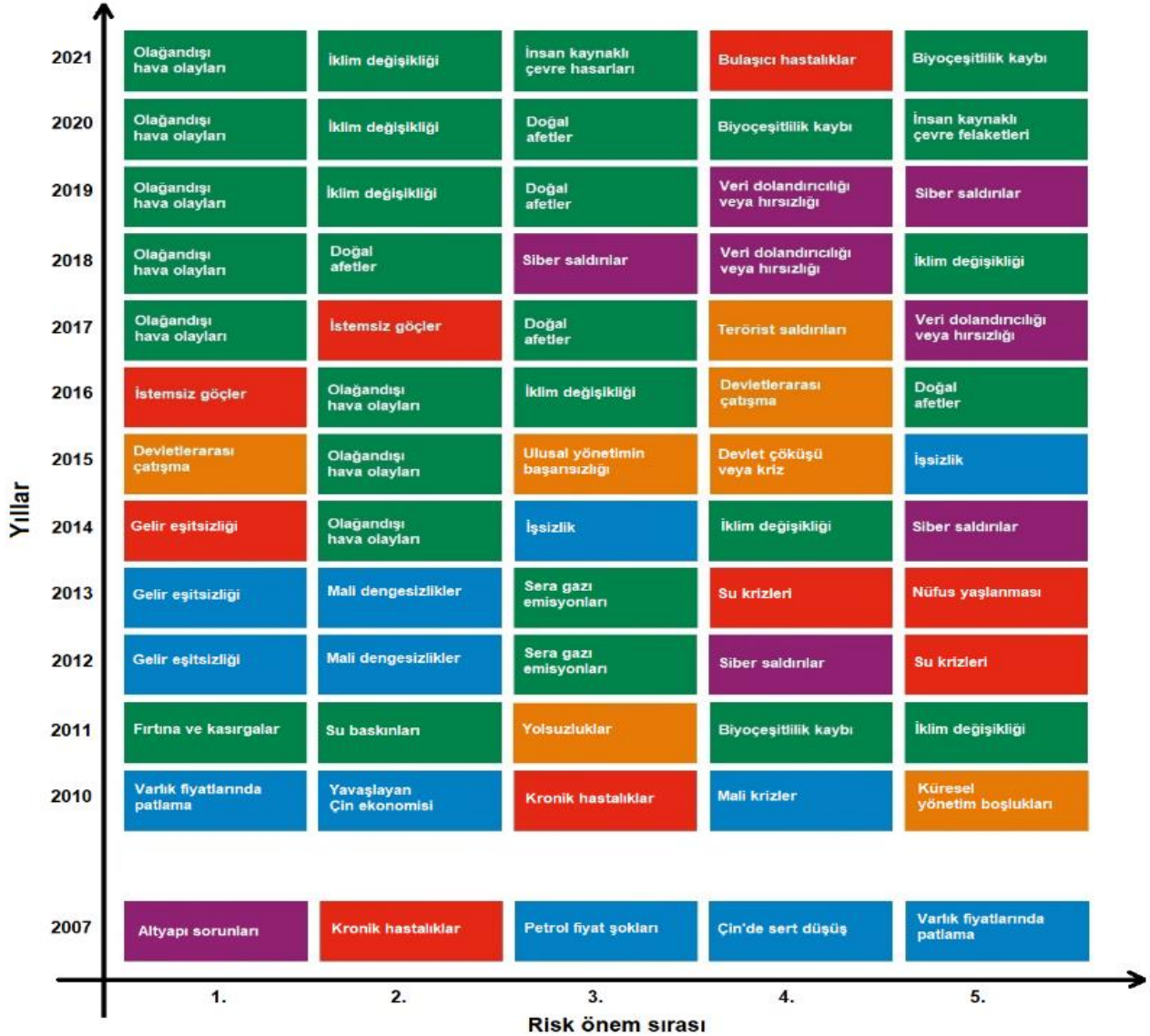
Tüketim sonu ya da üretim kaynaklı atıkları azaltma ve kaynak verimliliği sağlama amacıyla sektörler arası iş birliğinin artırılmasına (Örneğin, bir firmanın atığını diğer firmanın hammadde olarak kullanması) bağlı olarak kaynakların döngü içerisinde tutulması ile kaynakların mümkün olduğunca uzun süre kullanımı, enerji tasarrufu ve israfın azaltılmasını sağlayan bir modeldir (Bkz. Şekil 3). Ürün ve endüstriyel süreçlerin kaynak ve materyalleri sürekli olarak akışta ve kullanımda kalacak şekilde uygun olarak tasarlanması ile atıklar en aza indirgenmekte; oluşumu kaçınılmaz olan atıklar ve kalıntılar ise geri dönüştürülmekte veya geri kazanılmaktadır (Döngüsel ekonomi rehberi, 2020). Böylece değerli malzeme ve ürünleri yenilenebilir enerjiyi kullanarak dönüştürür/üretir ve taşır.

Döngüsel ekonomide atıklar, yeni süreçler için bir kaynak olarak kabul edildiğinden kaynakların kullanıma bağlı olarak tükenmemektedir. Kullanım sırasında ve yaşam döngüsünün bitiminden sonra ürünlere, bileşenlere ve malzemelere uygun stratejiler uygulanarak kaynaklar sistemde tutulmaktadır (Bkz. Şekil 2). Döngüsel ekonomi kaynakları (besinler veya malzemeler), biyolojik döngü ve teknik döngü olarak sınıflandırılmıştır (Growth within, 2015). Biyolojik malzemeler (gıda, doğal lifler ve ahşap gibi biyo-bazlı malzemeler) güvenli bir şekilde biyosfere geri gönderilebilmektedir. Teknik malzemeler ise (plastikler, metaller ve sentetik kimyasallar) biyosfere iade edilememektedir. Bu

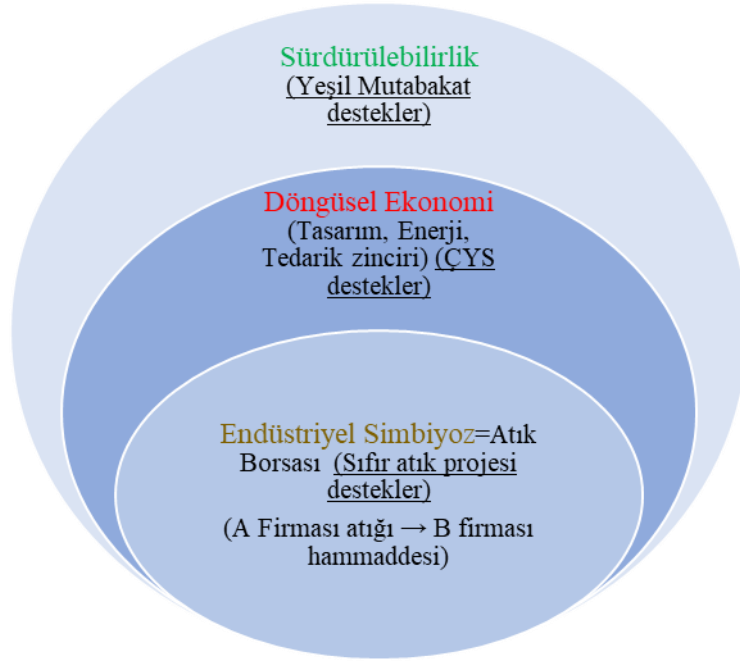
malzemeler, değerlerini tekrar sağlamak için sistemde sürekli olarak dönmelidir.

TÜDAM (Türkiye Değerlendirilebilir Atık Malzemeler Sanayicileri Derneği) Aralık 2017 verileri incelendiğinde Avrupa'daki birçok ülkeden daha fazla nüfusa sahip ve daha fazla ambalaj atığı üreten Türkiye'nin %20'lik ambalaj atığı toplama oranı ile Avrupa'da son sırada olduğu görülmektedir. Bu durum özellikle kâğıt ve plastik kalemlerinde üretim için önemli bir ithalatı beraberinde getirmekte ve önemli bir dış ticaret açığına sebep olmaktadır. 2017 verilerine bakıldığında Türkiye 197.840 ton plastik ve 577.361 ton kâğıt atık ithal etmek durumunda kalmıştır ve 131,5 milyon € dış ticaret açığına sebep olmuştur. Bu

durum atık bertarafına yönelik olarak yapılan depolama alanlarımızın büyük oranda amacı dışında kullanıldığı ve faydalı ömrünü tamamlamadan hizmet dışı kaldığının bir göstergesidir. Avrupa ülkelerinin atık toplama verileri ve Türkiye ile karşılaştırılması Tablo 1'de verilmiştir. Türkiye'de 2023 yılına kadar ambalaj atığı toplama oranının %60'a çıkartılması durumunda yaratılacak katma değer 656 milyon €'ya ulaşacağı öngörülmektedir. Bu durum atıkların hammadde, atık yönetimi sektörünün ise uluslararası bir piyasa olduğunu ve döngüsel ekonominin de fiiliyatta önemli bir strateji olduğunu açıkça göstermektedir (Tüdam Değerlendirilebilir Atık Malzemeler Sanayicileri Derneği, 2021).



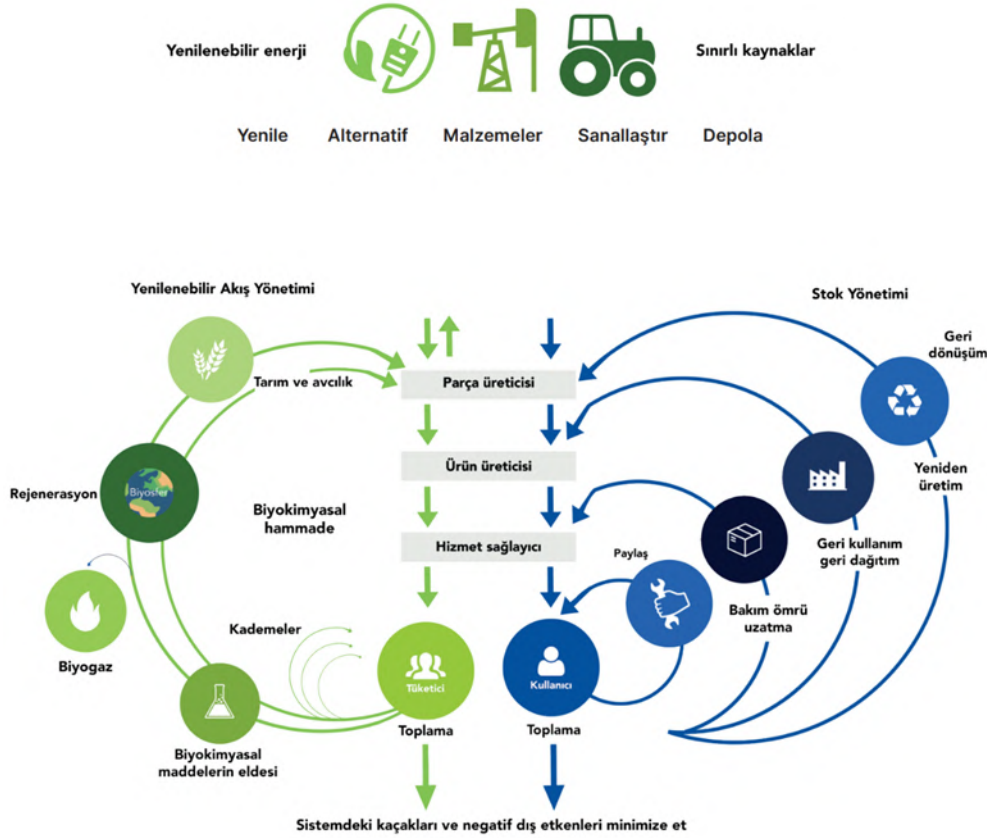
Şekil 1. Dünya Ekonomik Forumunun istatistiklerine göre en büyük küresel riskler (The World Economic Forum, 2021)



Şekil 2. Endüstriyel simbiyoz, dögüsel ekonomi ve sürdürülebilirlik arasındaki ilişki

Tablo 1. TÜDAM 2017 verilerine göre AB ülkelerinin atıklara yönelik ithalat ve ihracat verilerinin mukayesesi (Tüdam Değerlendirilebilir Atık Malzemeler Sanayicileri Derneği, 2021).

Ülke	Nüfus (milyon)	Ambalaj Atığı Toplama Oranı (%)	Oluşan Ambalaj Atığı Miktarı (milyon ton)	Toplanan Ambalaj Atığı Miktarı (milyon ton)	Toplam Atık İthalatı (milyon ton)	Toplam Atık İthalatı (milyon €)	Toplam Atık İhracatı (milyon ton)	Toplam Atık İhracatı (milyon €)	Dış Ticaret Fazlası/Açığı (milyon €)
Türkiye	80	20	6	1,2	0,775	150,6	0,044	19,015	-131,6
Almanya	82,8	97	18,1	17,6	1,229	878,9	2,804	1.272,2	393,3
Fransa	67	75	12,5	9,4	0,342	165,9	1.606	516,9	330,2
İtalya	60	78	12,3	9,5	0,539	386,2	1,774	447,1	60,8
İngiltere	65,8	65	11,4	7,4	0,081	135,7	10,434	3.166,075	3.030,3
İspanya	46,7	73	7,1	5,2	0,871	405,8	1.196,573	449,6	43,7
Polonya	37,9	60	5	3	0,122	49,4	0,284	111,6	62,168
Hollanda	17	95	3	2,8	0,655	519,0	4,091	1.500,7	981,7
Belçika	11	99	1,7	1,7	0,125	258,1	3,032	778,0	519,9
Portekiz	10,3	60	1,6	0,954	0,083	19,4	0,0749	39,1	19,7
Yunanistan	10,7	60	0,742	0,450	0,186	151,6	0,351	67,9	-83,7



Şekil 3. Döngüsel ekonomi (Growth within, 2015)

Döngüsel ekonominin dört ilkesi vardır; i) atık eşittir gıda (bir türün atığı, başka bir türün besinidir), ii) çeşitlilik yoluyla esneklik kurma (Bir ekonomi, bir ülke veya bir şirketin güçlerini paylaşarak ve yararlanılacak daha büyük bir kaynak havuzuna sahip olarak çeşitlilikten daha fazla değer elde edebilir), iii) yenilenebilir kaynaklardan enerji kullanma, iv) sistemlerle (insanlar, yerler ve fikirler) düşünme (Örneğin, enerji tasarruflu ampülleri bahçede kullanarak yeteri kadar enerji tasarrufu sağlayamamaktadır).

### 3. Döngüsel Ekonomi Niçin Uygulanmalı?

Hükümetler, şirketler ve toplumlar hem israfi ortadan kaldırmak hem de atıkların toplum üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmanın yolunu döngüsel ekonomiye başvurarak aramaktadırlar. Döngüsel Ekonomi ilkeleri doğrultusunda çalışan şirketler (Dünyanın en hızlı büyüyen şirketi McKinsey gibi), sadece çevre için iyi değil aynı zamanda daha fazla büyüme, daha fazla harcanabilir gelir ve daha fazla istihdam gerçekleştirmektedir. Her yıl 100 milyar tondan fazla kaynak ekonomiye aktarılırken, bunların %60'ından fazlası atık olarak ve iklim krizinin tetikleyicilerinden biri olan sera gazı emisyonu salınımında artış ile sonuçlanmaktadır.

2020 yılı Dünya Ekonomik Forumu Yıllık Toplantısında "işletmelerin Döngüsel Ekonomi'ye geçişi nasıl hızlandırılabilir" tartışılmış ve öneriler sunulmuş Döngüsel Ekonomi'ye geçiş süreci başlatılmıştır. Hazırlanan "Döngüsel Ekonomi El Kitabı" çok sayıda stratejiyi, pratik içgörüyü ve vaka incelemelerini içermektedir. Buna bağlı olarak hazırlanan AB Döngüsel Ekonomi Eylem Planı, Avrupa'nın Döngüsel Ekonomi'ye geçişini teşvik edecek önlemleri içermektedir.

AB'nin 2050 yılı hedefi, karbon nötr ilk kıta olmaktır ve bu doğrultuda tüm politikalarını «Yeşil Mutabakat» adı altında planlamıştır. Yeşil Mutabakat, emisyon azaltımı, döngüsel ekonomi, sıfır kirlilik, tarım ve kırsal alanların dönüşümü, sürdürülebilir ulaşım, enerji dönüşümü, adil geçiş ve tüm bunların finansmanını içeren bir çerçeveyi tarif etmektedir (Ekoiq, 2021). Bu mutabakat AB sınırları içinde faaliyet gösteren firmaların yanı sıra AB'ye ihracat yapan firmaları (ülkeminin ihracatının yaklaşık %40'ı AB'ye yapılmakta (Dış ticaret, 2021)) da kapsamaktadır. Bu nedenle AB'ye ihracat yapan Türkiye'deki mevcut firmalar (tedarikçileriyle birlikte) bu mutabakata uymak zorundadır. Özellikle sektörünün öncüsü olan devler "Döngüsel Ekonomi uygulama sistemine" uyararak üretim yapan firmaları tercih etmektedir.

### 4. Döngüsel Ekonomi Nasıl Gerçekleştirilmeli?

Döngüsel ekonomide iş yapmak için hükümet ve şirketler, kendi döngülerini üç basamakta kapatmalıdır. İlk olarak kullanılmış ürün ve malzemelerin satın alınmasıdır. Doğru hacimler, doğru kalitede ve makul bir fiyata toplanmalıdır. Örneğin, malzeme geri dönüşümü yalnızca büyük hacimlerde olur, çünkü geri dönüşüm tesisleri pahalıdır ve sürekli çalışması gerekmektedir. Yenileme daha küçük hacimlerde mümkündür, ancak iade edilen ürünlerin yeterli kalitede olması çok önemlidir. Bu nedenle test etme ve sıralama çok önemlidir. İkinci olarak temel iş süreci yeniden işlemedir. Kullanılmış ürünler ve malzemeler, makul bir fiyat karşılığında yeterli kalitede ürün ve malzemelere dönüştürülmelidir. Bu elbette malzeme düzeyinde yapılabilir, ancak bileşen veya ürün düzeyinde yapılırsa çok daha fazla değer kazanılabilmektedir. Örneğin, mürekkep kartuşlarını

yeniden doldurmak, kartuş malzemelerini geri dönüştürmekten daha karlıdır. Bileşenler yeniden üretilmekte ve yedek parça olarak kullanılabilir. Bu da yenilerini üretmekten çok daha ucuzdur. Son olarak yeniden pazarlamadır. Yani yeniden işlenmiş ürünleri satın almak isteyen pazarların belirlenmesidir. Yüksek kaliteli geri dönüştürülmüş malzemeler, yeni ürünlerin üretiminde kullanılabilirken, yenilenmiş ürünler daha düşük bir fiyata ikincil pazarları hedefleyebilmektedir.

Bir işletmenin başarılı olabilmesi için değer yaratması ve yakalaması gerekmektedir. İşletmelerin döngüsel ekonomide değer yaratabileceği dört yol tartışılmaktadır. Bunlar: i) Kaynak değeri, kapalı döngü iş uygulamalarından kaynaklanabilecek her türlü doğrudan maliyet azaltma ve tasarrufunu ifade etmektedir. Şirketler, döngüyü kapatarak ekolojik ayak izlerini iyileştirebilmektedirler. ii) Çevresel değer, bu iyileştirilmiş ayak izlerinden kaynaklanan iki tür faydayı ifade etmektedir. Bunlar; uyum kolaylığı ve iyileştirilmiş yeşil imajdır. iii) Müşteri değeri ise artan müşteri sadakati, daha iyi müşteri memnuniyeti ve üstün marka koruması anlamına gelmektedir. iv) Bilgi değeri, üretim ve tedarik sorunları, arıza oranları, bir ürünün faydalı ömrü, tüketici şikâyetleri ve kullanım modelleri hakkındaki değerli verileri ifade etmektedir. Bu veriler, kapalı döngü bir sistemde daha kolay elde edilebilmektedir. Farklı süreçleri (ürün tasarımı, üretimi vb.) iyileştirmek için kullanılabilir.

Döngüsel ekonomi üç ana konu başlığında toplanmıştır (Bkz. Şekil 4). Bunlar:

**a-Hammadde:** Hammaddelerin akılcı kullanımları için birçok fırsat vardır. Bunlar; malzemelerin kullanımının azaltılması ve optimize edilmesi, endüstriyel simbiyoz, geri dönüşüm, yeniden kullanım, yeniden dağıtım, yeniden satış, yenileme, yeniden üretim, bakım, onarım, servis vb.

**b-Tasarım:** İyi bir tasarım ile enerji, kaynak, zaman ve hatta maliyet tasarrufu yapılabilir. Döngüsel ekonomi eylem planında eko-tasarım gereksinimleri kapsamı; enerji verimliliği, ürünlerin onarılabilirliği, yükseltilebilirliği, dayanıklılığı ve geri dönüştürülebilirliğinin artırılmasıdır.

**c-Tedarik zinciri:** i) Daha az malzeme kullanımı için ürünlerin ve süreçlerin yeniden tasarlanması, ii) Geri dönüştürülmüş malzemelerin tercihi, iii) Fosil yakıtlar yerine yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması, iv) Tedarik zincirinin iyileştirilmesi (sadece miktarları azaltmaktan ziyade tedarik zincirindeki en zayıf noktaların belirlenmesi) (Döngüsel ekonomi rehberi, 2020).



Şekil 4. Döngüsel Ekonomi paketi (Döngüsel ekonomi rehberi, 2020)

“Döngüsel Ekonomi Uygulama Sistemi” uygulama modelleri ve teknolojileri olarak sınıflandırılmıştır (Bkz. Şekil 5).

Uygulama modelleri;

**Döngüsel Tedarik Zinciri:** Geleneksel üretim girdilerinin biyolojik olarak çözünebilir, yenilenebilir veya geri dönüştürülebilir/geri kazanılmış malzemelerle değiştirilmesini içermektedir.

**Ürünün Ömrünü Uzatmak:** Ürünler ve malzemeler daha uzun süre döngüde kalırlar ve sonuç olarak da yeni kaynak kullanımı ihtiyacı azalmaktadır.

**Paylaşım Ekonomisi:** Bu model ürün kullanıcıları arasında iş birliğini sağlamak için bir platform geliştirmektedir. Böylece fazla kapasitenin veya yetersiz kullanımın paylaşılmasını kolaylaştırmakta, üretkenlik ve kullanıcı değeri yaratmayı artırmaktadır.

**Ürün Hizmetleri Sistemi:** Ürünler bir veya birden fazla müşteri tarafından bir kiralama veya kullanım için ödeme yoluyla kullanılmaktadır.

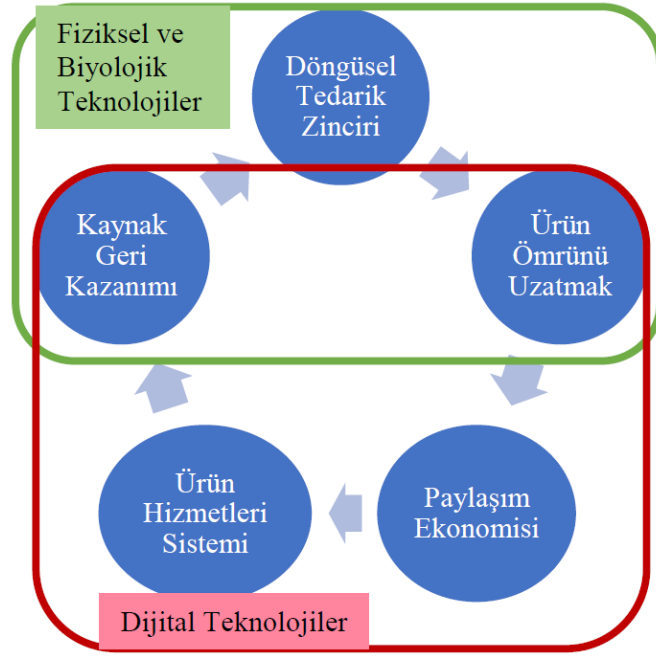
**Kaynak Geri Kazanımı:** Atıklardan ikincil hammaddelerin üretilmesini içermektedir.

Teknolojileri;

**Dijital Teknolojiler:** Nesnelerin interneti (IoT), Blockchain, büyük veri (big data), ve Radyo Frekansı Tanımlama (RFID). Kaynaklarımızı takip etmemize, faydalanma/atık kapasitemizi izlememize yardımcı olmaktadır.

**Biyolojik Teknolojiler:** Biyoenerji, biyolojik temelli malzemeler, biyokataliz, hidroponik-aeroponik sistemler. Fosil enerji kaynaklarından uzaklaşmamıza yardımcı olmaktadır.

**Fiziksel Teknolojiler:** 3D yazıcılar, robotik, enerji depolama ve hasadı, modüler dizayn, nano teknoloji, üretim ve malzeme. Maliyetlerimizi ve çevresel etkimizi azaltmamıza yardımcı olmaktadır (Döngüsel ekonomi rehberi, 2020).

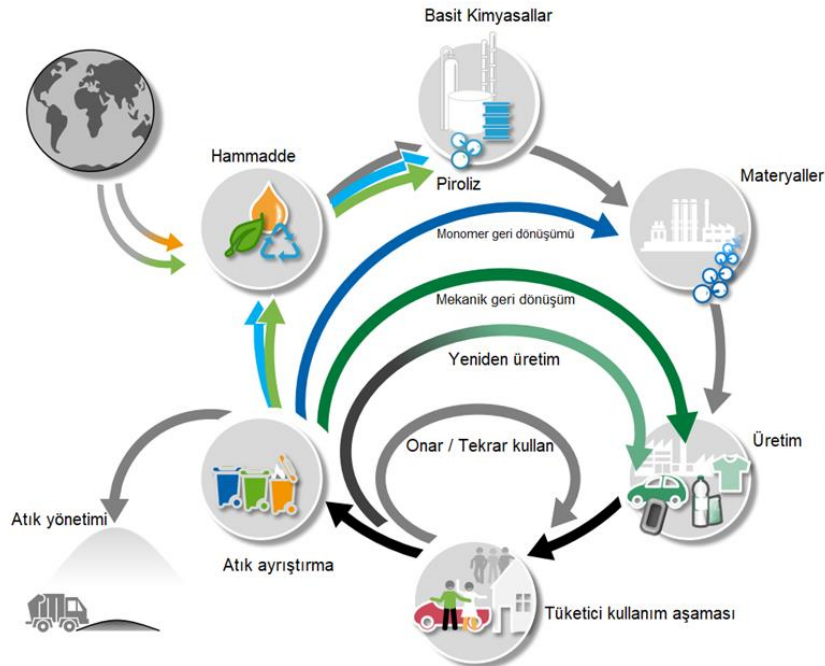


Şekil 5. "Döngüsel Ekonomi Uygulama Sistemi" uygulama modelleri ve teknolojileri

## 5. Dünya'nın Döngüsel Ekonomi Yaklaşımı

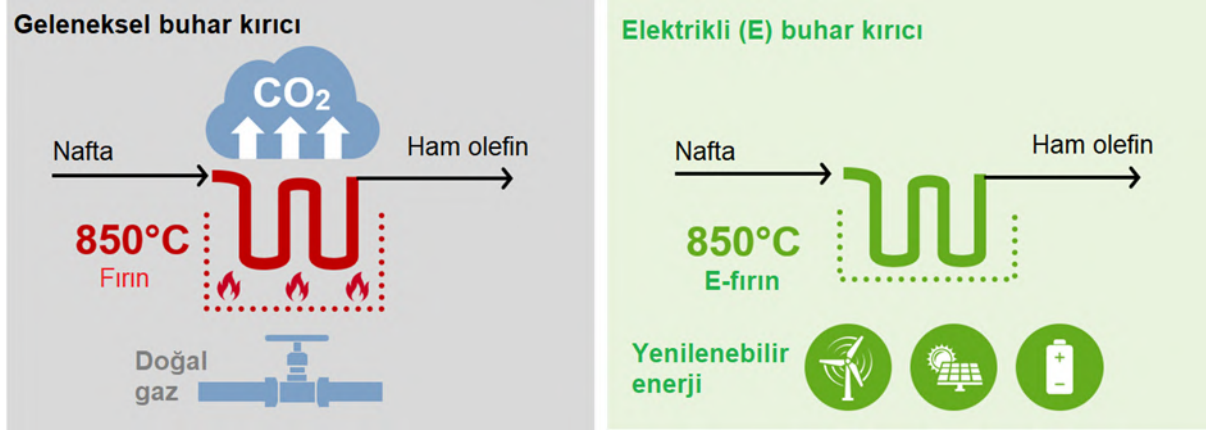
Dünyada McKinsey olarak bildiğimiz en hızlı büyüyen şirketler, aslında Döngüsel Ekonomi ilkeleri doğrultusunda çalışan şirketlerdir. Sadece çevre için iyi değil aynı zamanda daha fazla büyüme, daha fazla harcanabilir gelir ve daha fazla istihdam gerçekleştirmektedir. Her Avrupalı aileyi 3000 Euro daha zengin yaptığından büyük, ciddi ve önemli bir konudur. Pek çok şirket ve start-up, bu fırsatların potansiyelini fark etmekte ve gelecekteki piyasa trendlerinin gereksinimlerine uyacak yeni iş modelleriyle öne çıkmaktadır.

Örneğin MARS, M&S, Pepsi Co, The Coca-Cola Company, Unilever ve Werner & Mertz, Yeni Plastik Ekonomisi Girişimi ile işbirliği içinde 2025 yılına kadar %100 yeniden kullanılabilir, geri dönüştürülebilir veya kompostlanabilir ambalaj kullanmayı taahhüt etmiştir. Moda endüstrisinde 64 şirket, döngüsel moda sistemine geçişi hızlandırma sözü vererek 2020 Döngüsel Moda Sistemi Taahhüdü'nü imzalamıştır. BASF, Döngüsel Ekonomi uygulama sistemine geçişini gerçekleştirmiştir (Bkz. Şekil 6-7). Ayrıca ham petrol damıtılmasında yan ürün olan naftadan ham olefin eldesinde fosil yakıt kullanımı yerine yenilenebilir enerjinin kullanıldığı özel tasarım sistem geliştirilmiştir.



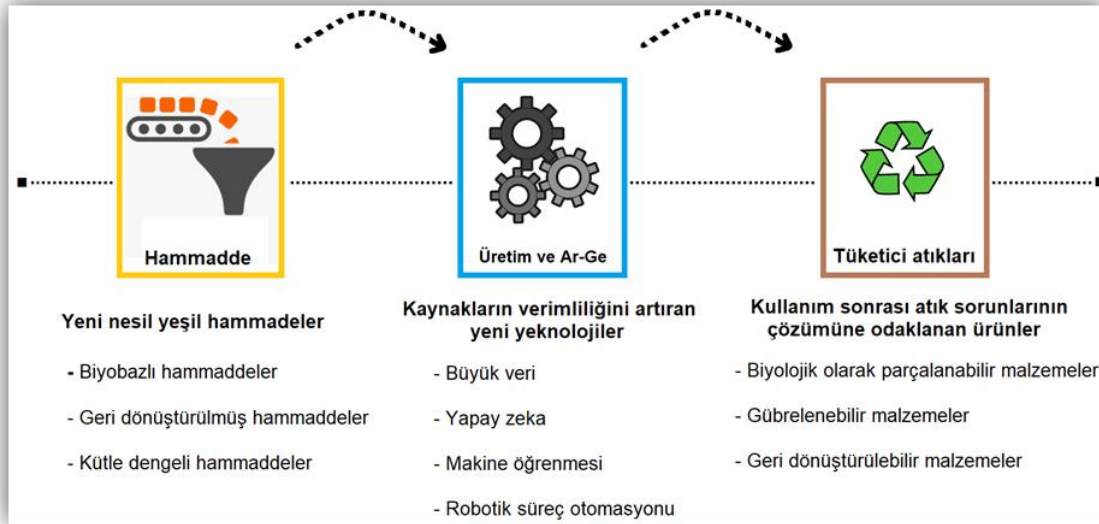
Şekil 6. BASF'ın Döngüsel Ekonomi uygulama sistemi (Azalt-Tekrar Kullan-Dönüştür) (BASF, 2021))





Şekil 7. BASF Döngüsel Ekonomi uygulama sistemi için yenilenebilir enerji uygulaması (BASF, 2021)

Kimya alanının dev firmaları arasında yer alan Organik Kimya firmasının Döngüsel Ekonomi uygulama sistemi Şekil 8’de verilmiştir.



Şekil 8. Organik Kimya Döngüsel Ekonomi uygulama sistemi (Artkim Group -Virtual Exhibition, 2021)

## 6. Avrupa'nın Döngüsel Ekonomiye Yaklaşımı

AB Döngüsel Ekonomi Eylem Planı, Avrupa'nın döngüsel ekonomiye geçişini teşvik edecek önlemleri içermektedir. Örneğin, mal ve hizmet kiralamaya dayalı daha fazla iş modeline sahip olmak, tüketim modellerini tek kullanımlık ürünlerden uzaklaştırmaya yardımcı olacaktır.

Avrupa Birliği'nin öncelik sıralamalarının ilk sıralarında yer alan Yeşil Mutabakat yalnızca AB sınırları içerisindeki faaliyetleri düzenlemekle kalmamakta, aynı zamanda AB üreticilerinin rekabetçi gücünü korumak için ticareti yapılan ürünün karbon yoğunluğu üzerinden hesaplanacak bir takım gümrük düzenlemelerini de tasarlamaktadır (Ekoiq, 2021). Birleşmiş Milletler üyesi ve aynı zamanda Avrupa Birliği'ne aday statüde yer alan ülkemizin, küresel alanda rekabet gücünü artırma ve iklim değişikliği konusunda Paris Anlaşması'nın getirdiği yükümlülükleri sağlama sorumluluğu bulunmaktadır. Bu nedenle

su ve enerji tasarrufu olmak üzere doğal kaynaklarımızın korunma-kullanma dengesinin sağlanması, oluşan atıkların geri dönüştürülerek üretimdeki hammadde ihtiyacının karşılanarak kaynak verimliliğinin sağlanması, yenilikçi teknolojiler ile birlikte yatırım ortamının iyileştirilmesi ve istihdama katkı sağlaması gerekmektedir. 2023 vizyonunun yanında 2053 ve 2071 vizyonlarına ulaşma amacıyla AB genelinde uygulamaya konulan Döngüsel Ekonomi modeline uygun bütüncül bir modelin geliştirilmesi ve ülke genelinde ilgili paydaşlar nezdinde koordineli bir şekilde uygulanması, yaşanan gelişmelerin izlenmesi ve buna yönelik düzenlemelerin yapılmasında önerilmektedir (Standart, 2018).

## 7. Türkiye’de Döngüsel Ekonomi

Türkiye’de Döngüsel Ekonomi, 2019 yılından itibaren sürdürülebilirlik adı altında uygulanmaya başlanmıştır. 2021 yılı başından itibaren pandeminin etkisi, iklim değişikliği ve kuraklıklar (yüksek sıcaklıklar) nedeniyle AB'nin Yeşil

Mutabakatı zorunlu tutması nedeniyle bu kavram oldukça gündemdedir.

Türkiye’de Döngüsel Ekonomi çalışmalarının hızlı bir şekilde ilerlemesini destekleyen iki kuruluş bulunmaktadır Bunlar; Türkiye Döngüsel Ekonomi Platformu (Türkiye Döngüsel Ekonomi Platformu, 2021) ve DCUBE Döngüsel Ekonomi Kooperatifidir (d-cube, 2021).

Türkiye Döngüsel Ekonomi Platformu; döngüsel ekonomiye geçişlerini gerçekten hızlandırmak isteyen şirketler için eğitim, finansal fırsatlar ve danışmanlık hizmetleri vermektedir. İş Dünyası ve Sürdürülebilir Kalkınma Derneği’nin (SKD Türkiye) alt gruplarından biri olan Sürdürülebilir Sanayi ve Döngüsel Ekonomi grubu, bilgi/kaynak ihtiyacını gidermek, ölçüm mekanizmaları sunmak, teknik hibe destekleri sağlamak ve

işbirliği olanakları oluşturarak bu platformu desteklemektedir (SKD Türkiye, 2021).

DCUBE Döngüsel Ekonomi Kooperatif; "Tarım, gıda, enerji, tekstil, su" alanları başta olmak üzere Döngüsel Ekonomi Modelinin uygulanması sonucunda verimli ve sürdürülebilir kalkınma politikalarının, özellikle Türkiye olmak üzere tüm dünyada yaygınlaşmasının sağlanması için çalışmaktadır.

Türkiye’de Avrupa’ya ihracat yapan firmaların çoğu Döngüsel Ekonomi’ye uyan tedarikçilerinden hammadde ve malzeme alımını tercih etmeye başlamıştır. Bundan dolayı Türkiye’nin önde gelen bazı tekstil firmaları da sürdürülebilirlik adı altında Döngüsel Ekonomi uygulama sistemini hayata geçirmişlerdir (Şekil 9-12).



Şekil 9. Yeşim Tekstil Döngüsel Ekonomi uygulaması (Eğitimler, 2021)



Şekil 10. Yeşim Tekstil 2025 sürdürülebilirlik stratejileri (Eğitimler, 2021)



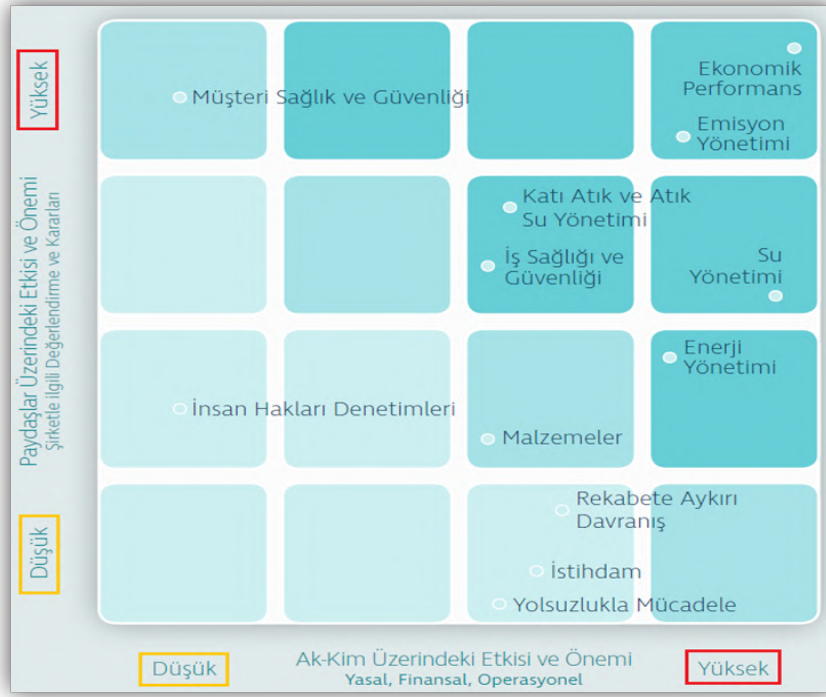
Şekil 11. Sun Tekstil Döngüsel Ekonomi uygulama grupları (Eğitimler, 2021)



Şekil 12. İpeker Tekstil Döngüsel Ekonomi uygulaması (Eğitimler, 2021)

Tekstil firmalarının yanı sıra ülkemizin öncü kimyasal firmalarından Akkim firması da sürdürülebilir kalkınma çalışmalarına odaklanmıştır.

Akkim, sürdürülebilirlik yönetimi alanında ülkemizde ve faaliyet gösterdiği sektörde örnek şirket olmayı hedeflemiştir (Sürdürülebilirlik Politikası, 2021). Akkim firmasının Sürdürülebilirlik Konuları Matrisi Şekil 13 'de verilmiştir.



Şekil 13. Akkim Sürdürülebilirlik Konuları Matrisi (Akkim, 2021)

Ayrıca Akkim firması, EcoVadis tarafından yürütülen “Sürdürülebilirlik Değerlendirmesinde”, çevre, sosyal, etik ve sürdürülebilir satın alma performansı kategorilerine göre 2020 yılında yapılan değerlendirmelerde tedarikçiler sıralamasında %22’lik dilimden %3’e yükselmiştir (Sürdürülebilirlik Kimyamızda Var, 2021).

SWOT analizi Türkiye’nin Döngüsel Ekonomi açısından iç çevreden kaynaklanan güçlü ve zayıf yönlerini ortaya koyarken aynı zamanda dış çevreden kaynaklanan fırsat ve tehditleri tespit etmekte de kullanılmıştır. Türkiye’nin Döngüsel Ekonomi uygulanabilirliği açısından SWOT analizi durum değerlendirme Tablo 2’de verilmiştir. Türkiye zayıf yönlerini iyileştirerek hem tehditleri bertaraf edebilir hem de fırsatları değerlendirerek güçlü yönlerini çok daha iyi kullanabilir.

Tablo 2. Döngüsel Ekonomi Uygulanabilirliği Açısından Türkiye’nin SWOT Analizi

Güçlü Yönler	Zayıf Yönler
<ul style="list-style-type: none"> <li>Türkiye gelişmekte olan bir ülke olması</li> <li>Türkiye’de çok fazla kuruluşun bulunması</li> <li>Güçlü pazara sahip olması</li> <li>Döviz kuru farkının yüksek olması</li> <li>Türkiye’nin turizm potansiyelinin yüksek olması</li> <li>En fazla ve çeşitte endemik bitki türüne sahip olması</li> <li>Atık geri dönüşümü için kullanılan piroliz teknik bilgiye sahip olması</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Çıkan atıkların tür ve miktarsal dağılımının bilinmemesi</li> <li>Atık analizlerinin belirlenmesine yönelik çalışmaların yetersiz olması</li> <li>Yetişmiş eleman yetersizliği</li> <li>Sektörde Döngüsel Ekonomi hakkında bilgi yetersizliği</li> <li>Türkiye’de her yönüyle Döngüsel Ekonominin yeterince bilinmemesi</li> <li>Atık ithalatının azaltılması</li> </ul>
Fırsatlar	Tehditler
<ul style="list-style-type: none"> <li>Yeşil Mutabakat çerçevesinde Avrupa pazarı kriterlerine uygun üretimin gerçekleştirilmesi</li> <li>Döngüsel ekonomi lisansüstü eğitim alternatiflerinin ortaya çıkması</li> <li>Yeni iş imkanlarının doğması</li> <li>Doğrusal ekonomi atık bertaraf maliyetini ekonomiye kazandırma</li> <li>Genç iş gücü nüfusunun yoğun olması</li> <li>Terim uygulamalarının teknolojik olarak geliştirilmesi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Atıkların yanlış kullanımları</li> <li>Atıkların doğal ortamlarda bulunması</li> <li>Atıkların yetersiz denetimi</li> <li>Yetersiz bilgi ve yetişmiş eleman eksikliği sebebiyle açığa çıkabilecek olumsuzluklar</li> <li>Atıkların bertarafı ve geri kazanımına yönelik mevzuat ve yönetmeliklerin yetersiz olması</li> </ul>

PEST analizi, Türkiye'nin Döngüsel Ekonomi durumunu politik, ekonomik, sosyal ve teknolojik yönleriyle inceleyerek içerisinde bulunduğu durumu ortaya koymaktadır. Aynı zamanda karşı karşıya kaldığı riskleri, fırsatları ve gelişim olanaklarını göstermektedir. Türkiye'nin Döngüsel Ekonomi uygulanabilirliği açısından PEST analizi Tablo 3'de verilmiştir.

**Tablo 3. Döngüsel Ekonomi Uygulanabilirliği Açısından Türkiye'nin PEST Analizi**

Politik	Ekonomik
<ul style="list-style-type: none"> <li>Denetlemenin yetersiz olması</li> <li>Teşvik edici yasal uygulamalarının yapılması</li> <li>AB Yeşil Mutabakatın desteklenmesi</li> <li>AB ülkeleri ile ilişkilerin güçlenmesi</li> <li>Dış ticaretin güçlenmesi</li> <li>Türkiye'nin ödediği karbon vergisi azalarak buradan daha fazla gelir sağlanması</li> <li>Türkiye'de vergi miktarlarının yüksek olması</li> <li>Ulusal Döngüsel Ekonomi eylem planının olmaması</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Atık ithalatının fazla olması</li> <li>Türkiye'nin enflasyon oranının yüksek olması</li> <li>Genç nüfusun yoğun olmasına bağlı yüksek iş gücü</li> <li>Enerjide yüksek oranda dışa bağımlı olunması</li> <li>Ekonomik kararsızlık ve sistem bozukluğu nedeniyle dış yatırımcılara iç güven ortamının oluşmaması</li> <li>Döngüsel Ekonomi konjektörünün olmaması</li> </ul>
Sosyal	Teknolojik
<ul style="list-style-type: none"> <li>Yeni iş imkânlarının oluşması</li> <li>Sağlıklı ve dengeli çevre ihtiyacı</li> <li>Çevre bilincinin "sıfır atık projesi" öncülüğünde gelişmesi</li> <li>Çevreyi korumaya yönelik tüketicinin bilinçlenmesi</li> <li>Yeni gereksinimlerde çevrenin korunmasının öncelikli olması</li> <li>Toplumun eğitim seviyesinin yükselmesine bağlı olarak çevre bilincinin artması</li> <li>Toplumdaki alışkanlıklar ve sosyokültürel değerler</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Çevreye duyarlı endüstriye duyarlı süreçlerde dünya ortalamasının gerinde olmamız</li> <li>Alternatif enerji kaynaklarına yatırımın artması</li> <li>Girdi maliyetlerinin yüksek olması</li> <li>Girdi kaynaklarında dışa bağımlı olunması</li> <li>Kuruluşların ekolojik koruma bilgi yetersizliği</li> <li>Teknoloji transferinin kısıtlı sektörlerde gerçekleştirilmesi</li> <li>Çevreye duyarlı uygulama alt yapısının gelişmekte olması</li> <li>IT (Bilgi Teknolojisi) kullanımının yetersiz olması</li> </ul>

## 8. Sonuç

Döngüsel Ekonomi kirlilik olaylarının küresel düzeyde görüldüğü dünyamız için beklenen bir sonuçtur. Dünyada hızla yükselen bu eğilim, ülkemizde yön verici olarak yer almalıdır. Bu kapsamda; hükümet, firmalar, üniversiteler ve akademisyenlerin de katıldığı uzun vadeli bir strateji benimsenmelidir.

Bu stratejinin ilk adımı halka faydalı modellerle atık yönetimi anlayışının benimsetilmesi olup sıfır atık uygulaması bu kapsamda oldukça yerinde bir uygulamadır. Bu sayede atık malzemelerin geri dönüşüme kazandırılması yanında ihtiyaç kadar tedarik edilmesi ve tüketime sunulmasıyla kaynakların "daha az" yerine "daha iyi ve daha etkin" kullanılmasında mümkün olacaktır. Ülkemizde Döngüsel Ekonomi uygulamalarının artışı ile dış ticaret açığının kapanması ve elimizdeki potansiyelin doğru yönetimiyle durumun dış ticaret fazlasına dönüştürülebilmesi mümkündür. Bu süreç 2023 hedefleri kapsamında gerçekleştirilebilecek kadar yakındır. Uygulamanın iyileştirilebilmesi için Endüstriyel Sürdürülebilirlik ve Döngüsel Ekonomi konularında farkındalık oluşturulması ve uzman personel yetiştirilmesi gerekmektedir. Bu konu özelinde Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi'nde yüksek lisans programları organize edilerek uzman ihtiyacının karşılanmasına çalışılmaktadır.

Döngüsel Ekonominin gelişimini sağlayacak yeni altyapı yatırımları; endüstriyel süreçlerin uyumlaştırılması, tedarik

zincirinin yeniden tasarlanması ve atık yönetimi sürecinin geri kazanım temeline oturtulması amacıyla gereklidir. Bu süreçte yetiştirilecek uzmanlarla ürün/süreç tasarımı, mikro ve nano ölçekte malzeme mühendisliği ve hesaplamalı modellemede yenilikler sağlanabilecektir. Böylece insanlar atık yönetimi ve kirliliği önleyici faaliyetleri tasarlamayı, kullanılan ürünleri ve malzemeleri daha uzun süre korumayı yaşam biçimine dönüştürecek ve dolayısıyla doğal sistemlerin yenilenmesine de izin verilecektir.

## Kaynakça

- Artkim Group | Virtual Exhibition. (2021). <http://www.chemsuppliervirtual.com/Konferanslar/>
- Avrupa Birliği İle Dış Ticaret (Erişim tarihi: 09.07.2021) <https://ticaret.gov.tr/data/5d63d89d13b8762f7c43a738/11-Avrupa%20Birli%C4%9Fi%20ile%20Dis%20Ticaret.pdf>
- Balbay, Ş., 2020, Iso 14001:2015 Çevre Yönetim sistemi ve Uygulaması, Gece Kitaplığı, 1. Basım
- Circular Economy at BASF. (2021) <https://www.basf.com/global/en/who-we-are/sustainability/we-drive-sustainable-solutions/circular-economy.html>

- Döngüsel ekonomi kooperatifi (2021). 1, from <https://www.d-cube.org/>
- Eğitimler. (2021). <https://uib.org.tr/tr/faaliyetlerimiz-egitimler.html>
- Growth within: a Circular Economy Vision for a Competitive Europe. McKinsey Center for Business and Environment, 2015.  
<http://www.skdturkiye.org/>, (2021).  
<https://www.akkim.com.tr/ca/docs/AB6B2D11220D48C7BE6A6D615F9F8A/2C7F64249A9048CB8672649FF48CD4A3.pdf>. (2021)
- İşletmeler için döngüsel ekonomi rehberi. (2020).  
<https://www.business4goals.org/wp-content/uploads/2021/03/%C4%B0sletmeler-icin-Dongusel-Ekonomi-Rehberi.pdf>
- Sapmaz Veral, E. (2019). An Evaluation on the Circular Economy Model and the Loops Design in the Context of Waste Management. *European Journal of Science and Technology*, (15), 18-27.
- Standart, ekonomik ve teknik dergi (2018)  
<https://statik.tse.org.tr/upload/tr/dosya/icerikyonetimi/8962/09032018171144-2.pdf>.
- Sürdürülebilirlik Kimyamızda Var. (2021).  
<https://www.akkim.com.tr/tr/basin/bizden-haberler/i-3259>
- Sürdürülebilirlik Politikası. (2021).  
<https://www.akkim.com.tr/tr/surdurulebilirlik/surdurulebilirlik-politikamiz/surdurulebilirlik-politikasi/i-2004>
- The World Economic Forum. (2021). <https://www.weforum.org/>
- Tüdam Değerlendirilebilir Atık Malzemeler Sanayicileri Derneği. (2021). <http://www.tudam.org.tr/etkinlik/99/bir-mrbrunetarnaud-degerlendirmesi>
- Türkiye Döngüsel Ekonomi Platformu. (2021).  
<https://donguselekonmiplatformu.com/>
- Yeşil Ekonomi Tartışmalarında Yer Almamanın Ciddi Bir Maliyeti Var - EkoIQ. EkoIQ. (2021)., from <https://ekoIQ.com/2020/12/28/yesil-ekonomi-tartismalarinda-yer-almamanin-ciddi-bir-maliyeti-var/>.



# Aydın ve Denizli'deki Sıcak Su Kaynaklarından İzole Edilen Termofilik Bakterilerin Lipaz, Amilaz ve Proteaz Aktivitelerinin Araştırılması

Mehmet Aytar<sup>1\*</sup>, Bülent Bozdoğan<sup>2</sup>, Gamze Başbülbul<sup>3</sup>

<sup>1\*</sup>Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Bölümü, Aydın, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-8083-7358), [maytar90@gmail.com.tr](mailto:maytar90@gmail.com.tr)

<sup>2</sup>Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Tıbbi Mikrobiyoloji Bölümü, Aydın, Türkiye (ORCID: 0000-0003-2469-9728), [bbozdogan@gmail.com.tr](mailto:bbozdogan@gmail.com.tr)

<sup>3</sup>Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Aydın, Türkiye (ORCID: 0000-0001-8151-6321), [gbasbulbul@adu.edu.tr](mailto:gbasbulbul@adu.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 25 Ağustos 2021 ve Kabul Tarihi 25 Eylül 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.987198)

**ATIF/REFERENCE:** Aytar, M., Bozdoğan, B. & Başbülbul, G. (2021). Aydın ve Denizli'deki Sıcak Su Kaynaklarından İzole Edilen Termofilik Bakterilerin Lipaz, Amilaz ve Proteaz Aktivitelerinin Araştırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (27), 570-574.

## Öz

Termofilik bakteriler sıcak çevrelerde gelişebilen mikroorganizmalardır. Bu bakterilerin ürettikleri enzimler bitki ve hayvan kaynaklı enzimlere göre daha stabil olabilmekte ve daha ucuz olarak elde edilmektedirler. Termotabil enzimler ekstrem şartlarda esneklik ve tolerans göstermektedirler. Lipazlar biyoteknoloji ile ilişkili önemli gruplardır ve gıda, mandıra, deterjan ve ilaç endüstrisinde kullanılmaktadırlar. Diğer önemli bir enzim grubu olan amilazlar kağıt, şeker, tekstil, deterjan, fırında pişirme ve demleme endüstrisi gibi çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Proteazlar hidrolitik enzimlerdir ve deterjan üretimi, deri ürünleri, ilaç, et yumuşatıcı olarak, gıda ürünleri ve katı atık arıtma sanayii gibi çeşitli endüstriyel işlemlerde kullanılmaktadır. Bu çalışmada, Aydın ve Denizli'deki bazı termal alanlardan elde edilen 30 suşun 16S rDNA bölgeleri PCR ile çoğaltılmış ve moleküler tanıları yapılmıştır. Otuz izolat arasında suşların % 50'si lipaz, % 63.3'ü amilaz, % 56.6'sı proteaz enzimlerini üretmektedirler. Lipaz-proteaz üreten üç, amilaz-proteaz üreten yedi izolat saptanırken, her üç enzimi de üreten altı izolat olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak, çalışmamızda elde edilen suşlar ve ürettikleri enzimler endüstriyel biyoteknolojide kullanılma potansiyeline sahiptir.

**Anahtar Kelimeler:** Termofilik Bakteriler, Lipaz, Amilaz, Proteaz, 16S rDNA.

## Lipase, Amylase and Protease Activities of Thermophilic Bacteria Isolated from Hot Springs in Aydın and Denizli

### Abstract

Thermophilic microorganisms are able to grow at high temperatures. Enzymes produced by these kind of bacteria are more stable and cost effective. Thermostable enzymes have flexibility and tolerance in extreme conditions. Lipases dealing with biotechnology are important groups of enzymes. These enzymes are used in food, dairy, detergent and pharmaceutical industry. Amylases that are also important groups are used in various biotechnological fields such as paper, sugar, textile, detergent, baking and infusion industry. Proteases are hydrolytic enzymes and they are used in various industries such as producing detergent, leather products, pharmaceutical, meat tenderizer, food products and solid waste treatment industry. In this study, 16S rDNA regions of thirty bacterial strains isolated from thermal areas in Aydın and Denizli are amplified by PCR and isolates were identified by molecular methods. Among 30 isolates, percentage of strains that produce one enzyme is that; lipase % 50, amylase % 63.3, protease % 56.6. Three of strains were found to be produce both Lipase and protease, while seven strains were amylase and protease producers. Six strains were found to capable of producing all three enzymes. As a result, isolates obtained in our study and their enzymes have an important potential in industrial biotechnology.

**Keywords:** Thermophilic Bacteria, Lipase, Amylase, Protease, 16S rDNA.

\*Sorumlu Yazar: [maytar90@gmail.com.tr](mailto:maytar90@gmail.com.tr)

## 1. Giriş

Termofilik mikroorganizmalar yüksek sıcaklıklarda gelişebilmektedirler. Ekstrem çevrelerde üç farklı sıcaklık aralığında gelişen gruplar (termofiller 35-70 °C, ekstrem termofiller 55-85 °C, hipertermofiller 75-113 °C) tespit edilmiştir (Baker ve ark., 2001). Jeotermal kaynaklar açısından ülkemiz oldukça zengindir. Resmi kayıtlara alınmış 140 adet jeotermal alan bulunmaktadır (ANONİM, 2001). Bu bakterilerin ürettiği enzimler bitki ve hayvan kaynaklı enzimlere göre daha stabildirler, fazla üretilmekte ve ucuz olarak elde edilmektedirler. Termotabil enzimler ekstrem şartlara karşı esneklik ve tolerans göstermektedirler (Güven, 2011). Termofilik bakteriler tarafından üretilen birçok enzim bulunmaktadır. Bu çalışmada, biyoteknolojide çok kullanılan lipaz, amilaz ve proteaz enzimleri çalışılmıştır. Lipazlar biyoteknoloji ile ilişkili önemli gruplardır ve gıda, mandıra, deterjan ve ilaç endüstrisinde kullanılmaktadırlar (Royter ve ark., 2009). Diğer önemli grup olan amilazlar da çeşitli biyoteknolojik alanlarda örneğin, kağıt, şeker, tekstil, deterjan, fırında pişirme ve demleme endüstrisinde kullanılmaktadır (de Souza & Magalhães, 2010). Proteazlar hidrolitik enzimlerdir. Proteinlerin daha küçük yapıya peptid ve aminoasitlere parçalanmasını hızlandırmaktadırlar. Proteazların kullanımı deterjan üretimi, deri ürünleri, ilaç, et yumuşatıcı olarak, gıda ürünleri ve katı atık arıtma sanayii gibi çeşitli endüstriyel işlemlerde kaydedilebilir artış göstermiştir (Fıtrıanı, 2018). Endüstride çalışma sıcaklığı yüksek olabilmektedir. Termofilik olmayan enzimler kullanıldığında aktivite kaybı yaşanmaktadır. Bu yüzden birçok alanda termofilik enzimlere ihtiyaç duyulmaktadır. Çalışmamızda Aydın ve Denizli çevresindeki termal alanlardan alınan sıcak su ve çamur örneklerinden elde edilen izolatlardaki lipaz, amilaz ve proteaz enzim aktivitelerine bakılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Materyal

Hasköy, Kabağaç, Pamukkale (Denizli), Buharkent ve Ortakçı (Aydın)'da bulunan kaynaklardan su ve çamur örnekleri steril kaplara alınmıştır. Örneklerin pH'ları ve sıcaklıkları yerinde ölçülmüş lokasyon koordinatları kaydedilmiştir (Tablo 1) Arazi sonrası laboratuvara getirilen örneklerden aynı gün içerisinde ekimler yapılmıştır.

Tablo 1. Örneklerin pH, Sıcaklık ve Lokasyon Koordinatları

İstasyon	Sıcaklık	pH	Koordinatlar
Pamukkale Traverten	22°C	7,0	37°55'11"N 29°07'26"E
Hasköy İnaltı (Denizli)	60°C (Çamur)	7,0	37°55'36"N 28°48'29"E
Umut Termal (Denizli)	62°C (Alt Havuz)	10,0	37°55'17"N 28°49'43"E
Umut Termal (Denizli)	40°C (Çamur havuzu)	7,0	37°55'14"N 28°49'41"E
Kayta Otel (Buharkent)	47°C (Musluk)	10,0	37°56'50"N 28°49'43"E
Güney Termal Otel (Buharkent)	61°C (Musluk)	10,0	37°56'48"N 28°49'42"E
Ortakçı (Aydın)	32°C (Çamur)	7,0	37°58'29"N 28°42'47"E

### 2.2 Termofilik Bakterilerin İzole Edilmesi ve Saflaştırılması

Denizli ve çevresinden toplanan sıcak su ve çamur örneklerinden 1/9 oranında fizyolojik tuzlu su (FTS) ile dilüsyon yapılarak eküvyon çubuğu ile TSA besiyerine yayma ekim yapılmıştır. 50°C'de gecelik inkübasyona bırakılmıştır. Karışık bakteri kolonilerinden en az iki pasaj ile saflaştırma yapılarak 30 izolat elde edilmiştir.

### 2.3 DNA İzolasyonu ve 16S rDNA PCR

Saflaştırılan şuşlardan easyDNA, DNA izolasyon kiti (R-Tech, Türkiye) ile total DNA izolasyonu yapılmıştır. Total DNA'dan 16S rDNA korunmuş gen bölgeleri, 16S 20F (5'-AGAGTTTGATCCTGGCTCAG-3')-1390R (5'-GACGGGCGGTGTGTACAA-3') primerleri ile amplifiye edilmiştir. PCR reaksiyonu, 94°C 4dk, (94 °C 30sn, 56 °C 30sn, 72 °C 1dk) 35 döngü, 72 °C 7dk şartlarında yapılmıştır. PCR master mix içeriğinde; final konsantrasyon olarak 1x taq buffer{+(NH<sub>4</sub>)SO<sub>4</sub>, -MgCl<sub>2</sub>}, 25 unit/mL Taq DNA polimeraz, dNTP(10mM), 16S rDNA primerleri (100 pmol), MgCl<sub>2</sub> (2mM) kullanılmıştır. PCR reaksiyonundan sonra ampikonlar istenilen DNA'nın amplifiye edilip edilmediğini anlamak için agaroz jel elektroforezinde her kuyuya 5µl DNA eklenip 30dk yürütülmüştür. Marker olarak λ Pst marker kullanılmıştır. Sonuç UV Transillumunatörde UV ışıkta gözlemlenmiştir.

### 2.4 RFLP

Elde edilen 30 izolatın 16S rDNA PCR ampikonları Nla III ve Rsa I restriksiyon enzimleri ile kesilmiştir. Reaksiyon için: 10µl DNA (ampikon), 7µl dH<sub>2</sub>O, 2µl fast digest buffer, 1µl enzim kullanılmıştır. Termal çalkalayıcıda 37°C'de 30dk inkübe edilmiştir. İşlem sonunda DNA agaroz jel elektroforezinde yürütülmüş ve oluşan bant profilleri değerlendirilerek farklı bant profiline sahip şuşlar sekans analizi için seçilmiştir.

### 2.5 Sekans Analizi

RFLP sonucu farklı DNA profiline sahip olduğu belirlenen 8 izolatın 16S rDNA fragmanlarının dizi analizi hizmet alımı ile yaptırılmıştır (MedSantek). Diziler BLAST analizi ile veritabanındaki diziler ile karşılaştırılmış ve moleküler tanı için homolojiler belirlenmiştir ([blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi](http://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi))

### 2.6 Enzim Aktivitelerinin Kalitatif Tayini

İzole edilen 30 izolatın lipaz, amilaz, proteaz aktiviteleri taranmıştır. Lipaz enzimi tayini için Tween 20 agar ((g/L); 10 g pepton, 5 g NaCl, 0.1 g CaCl<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O, 20 g agar ve 10 ml (v/v) Tween 20) (Ramnath ve ark., 2017), amilaz tayini için Nişasta agar (%0.01 CaCl<sub>2</sub>, %0.5 nişasta ve TSA besiyeri) (Başbülbül ve ark., 2018) ve proteaz tayini için Skim milk agar (20g/L skim milk tozu ve TSA besiyeri) kullanılmıştır. İzolatlar besiyerlerine ekildikten sonra 50°C'de inkübe edilmişlerdir. Besiyerlerinde gelişim gösteren bakteri kolonilerinin etrafında hale şeklindeki zonların oluşması enzim aktivitesi göstergesi olarak kabul edilmiştir. Ertesi gün oluşan zon varlığına ve boyutuna göre aktiviteler kalitatif olarak değerlendirilmiştir. Oluşan zon büyüklükleri izolatlar arasında gözleme dayalı karşılaştırılarak büyük (+++) orta(++) ve küçük (+) olarak değerlendirilmiştir.

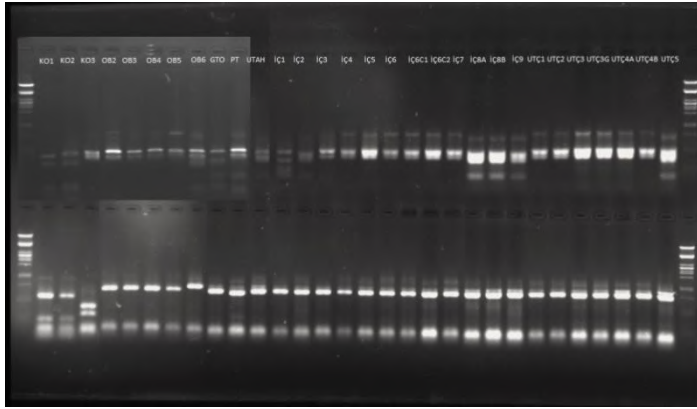


### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Çalışmada izole edilen 30 suşun 16S rDNA PCR ampliconlarından RFLP metodu ile farklı profillere sahip olduğu tespit edilen 8 suşun 16S rDNA'sı hizmet alımı yoluyla sekanslatılmıştır. Farklı olan suşların tanısı BLAST analizi ([blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi](http://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi)) yoluyla yapılmıştır. Sonrasında 30 izolatu lipaz, amilaz ve proteaz enzim aktiviteleri tayin edilmiştir. Bulgular sırasıyla aşağıda verilmiştir.

#### 3.1. RFLP

İzolatlardan elde edilen 16S rDNA ampliconları RsaI ve NlaIII restriksiyon enzimleri ile kesilerek oluşan bant profilleri değerlendirilmiştir. Otuz izolat arasından 8 farklı bant profili tespit edilmiştir (Şekil 1).



Şekil 1 İzole edilen 30 suşun RsaI (üst) ve NlaIII (alt) restriksiyon enzimleri ile kesimi

RFLP sonucuna göre tayin edilen gruplar ve izolat kodları Tablo 2'de verilmiştir.

#### 3.2 Sekans Analizi

Sekiz adet grup içerisinde yer alan izolatlardan birer tane seçilerek, 16S rDNA dizi analizi yapılmıştır. Sekans sonuçlarına göre tespit edilen homolojiler Tablo 2 de verilmiştir.

Tablo 2. RFLP Sonucu Seçilen 8 Farklı İzolatu 16S rDNA Sekanslama Sonucu

Suş Kodu	Bakteri Adı	Benzerlik	Karşılaştırılan Baz Uzunluğu
KO1	<i>Tepidicella xaverii</i> TU-16 <sup>T</sup> ( <a href="#">16585714</a> )	% 97	700
KO3	<i>Paracoccus aestuarii</i> KNUC9015 <sup>T</sup> ( <a href="#">JF505949</a> )	% 99	700
OB2	<i>Bacillus safensis</i> KMF402 <sup>T</sup> ( <a href="#">MT642941</a> )	% 100	700
OB6	<i>Paenibacillus lactis</i> PF4J_1-2 <sup>T</sup> ( <a href="#">KT720088</a> )	% 100	700
PT	<i>Exiguobacterium profundum</i> APBSMLB42 <sup>T</sup> ( <a href="#">MG705821</a> )	% 80	600
İÇ1	<i>Alkalihalobacillus halodurans</i> LB-1 <sup>T</sup> ( <a href="#">CP040441</a> )	% 100	700
İÇ9	<i>Brevibacillus agri</i> ChemUPES_4 <sup>T</sup> ( <a href="#">MK281590</a> )	% 100	700
UTÇ1	<i>Bacillus paralicheniformis</i> NYGR20 <sup>T</sup> ( <a href="#">MN922812</a> )	% 100	700

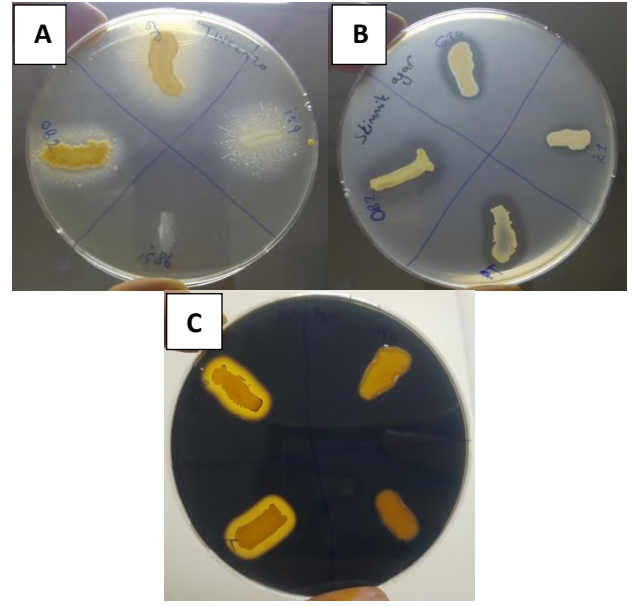
#### 3.3 Kalitatif Enzim Aktivitesi Tayini

Otuz adet termofilik izolatu lipaz, amilaz, proteaz aktivite sonuçları Tablo 3'de verilmiştir. Toplamda 30 suş içinden lipaz enzimi aktivitesi açısından pozitif 15, amilaz enzimi aktivitesi açısından pozitif 19, proteaz enzimi aktivitesi açısından pozitif 17 adet suş tespit edilmiştir.

Tablo 3. İzole Edilen Temofilik Bakterilerin Lipaz, Amilaz ve Proteaz Enzim Aktivitesi Açısından Kalitatif Bulgular

Suş Adı	16S rDNA Blast Sonucu	RFLP Grubu	Lipaz	Amilaz	Proteaz
KO1	<i>Tepidicella xavieri</i>	1	-	-	-
KO2	<i>Tepidicella xavieri</i>	1	-	-	-
KO3	<i>Paracoccus aestuarii</i>	2	++	-	-
OB2	<i>Bacillus safensis</i>	3	+	-	+++
OB3	<i>Bacillus safensis</i>	3	-	+++	++++
OB4	<i>Bacillus safensis</i>	3	++	-	+++
OB5	<i>Bacillus safensis</i>	3	+	+++	++
OB6	<i>Paenibacillus lactis</i>	4	+	-	-
GTO	<i>Alkalihalobacillus halodurans</i>	6	++	+	++
PT	<i>Exiguobacterium profundum</i>	5	-	+++	+++
UTAH	<i>Exiguobacterium profundum</i>	5	+	++	-
İÇ1	<i>Alkalihalobacillus halodurans</i>	6	+++	+	+
İÇ2	<i>Alkalihalobacillus halodurans</i>	6	-	-	-
İÇ3	<i>Alkalihalobacillus halodurans</i>	6	+++	-	+++
İÇ4	<i>Alkalihalobacillus halodurans</i>	6	-	+++	+
İÇ5	<i>Alkalihalobacillus halodurans</i>	6	+	++	+
İÇ6	<i>Alkalihalobacillus halodurans</i>	6	-	+++	+
İÇ6C1	<i>Alkalihalobacillus halodurans</i>	6	-	+++	+
İÇ6C2	<i>Alkalihalobacillus halodurans</i>	6	-	+++	-
İÇ7	<i>Alkalihalobacillus halodurans</i>	6	-	+++	+
İÇ8A	<i>Alkalihalobacillus halodurans</i>	6	-	-	-
İÇ8B	<i>Alkalihalobacillus halodurans</i>	6	+	+++	-
İÇ9	<i>Brevibacillus agri</i>	7	++	-	-
UTÇ1	<i>Bacillus paralicheniformis</i>	8	-	-	++
UTÇ2	<i>Bacillus paralicheniformis</i>	8	-	+++	+
UTÇ3	<i>Bacillus paralicheniformis</i>	8	-	++	-
UTÇ3G	<i>Bacillus paralicheniformis</i>	8	-	+++	-
UTÇ4A	<i>Bacillus paralicheniformis</i>	8	++	+++	++
UTÇ4B	<i>Bacillus paralicheniformis</i>	8	+	++	+
UTÇ5	<i>Bacillus paralicheniformis</i>	8	++	+	-

Kalitatif olarak lipaz, amilaz ve proteaz enzimleri açısından pozitif bulunan bazı suşların petri resimleri aşağıda verilmiştir.



Şekil 2. A: Lipaz enzim aktivitesi, B: Proteaz enzim aktivitesi, C: Amilaz enzim aktivitesi açısından yüksek aktivite gösteren bazı suşlar

Dünyada var olan bölgesel sıcak kaynaklar olağandışı hayat, gen ve metabolit formları için önemli noktaları temsil etmektedir. Thomas Brock, Yellowstone Milli Parkı'nın termal bölgelerinden *Thermus aquaticus*'un varlığını keşfettiğinden beri, birçok araştırmacı tüm dünyada benzer ortamları araştırmıştır. Yaşadığımız dünya araştırmacıların hala identifikasyon ve izolasyonunu tamamlayamadığı çeşitli mikroorganizmalar ile doludur ve bu umut vaadeden mikroorganizmaları araştırmak için pek çok çalışma devam etmektedir (Mohammad ve ark., 2017). Çalışmamızda örnek toplanılan sıcak su alanlarından % 83,3 oranında *Bacillus* cinsi izole edilmiştir. Bunun sebebi bu cinsin endosporlu ve çok çeşitli çevre şartlarına dirençli olmasından kaynaklanmaktadır (Connor ve ark., 2010).

Bu çalışmada sıcak su kaynaklarından izole edilen aynı türlere ait farklı suşların gelişimi 50°C sıcaklık şartlarında gerçekleştirilmiştir.

Çalışmamızda elde edilen izolatların lipaz, amilaz ve proteaz enzim aktivitelerine bakılmıştır. İÇ1 ve İÇ3 suşlarının çalışılan otuz izolat içerisinde en yüksek lipaz aktivitesine sahip olduğu tespit edilmiştir. Blastlama sonucuna göre *Alkalihalobacillus halodurans* LB-1<sup>T</sup> ile %100 benzerlik gösteren İÇ1 suşu izolatlar arasında en yüksek lipaz aktivitesi göstermiştir. Çalışılan izolatlar kendi içinde karşılaştırıldığında OB3, OB5, PT, İÇ4, İÇ6, İÇ6C1, İÇ6C2 ve İÇ7 suşları amilaz enzim aktivitesi açısından en yüksek aktiviteyi göstermişlerdir. *Exiguobacterium profundum* ile %80 benzerlik gösteren PT suşu çalışılan suşlar arasında en yüksek amilaz aktivitesine sahiptir. Yüksek proteaz enzim aktivitesine sahip OB2, OB3, OB4, PT ve İÇ3 suşları içinden OB3 suşunun otuz izolat içinde en yüksek proteaz enzim aktivitesine sahip olduğu tespit edilmiştir. *Bacillus safensis* ile %100 benzerliğe sahip olan OB2, RFLP sonucuna göre yukardaki suşlar ile aynı DNA profiline sahip olduğu görülmüştür. Elde edilen termofilik izolatların büyük çoğunluğu *Bacillus* cinsine ait olduğu tespit edilmiştir. *Bacillus* cinsine ait türler ile yapılmış pek çok enzim çalışması literatürde bulunmaktadır (Nawani ve Kaur, 2007), *Bacillus subtilis* 168 (Lesuisse ve ark., 1993), *Bacillus*

*thermoleovorans* CCR11(Castro-Ochoa ve ark., 2005), *Bacillus sphaericus* 205y (Sulong ve ark., 2006) ve *Anoxybacillus flavithermus* HBB 134 (Bakir ve Metin, 2016) gibi birçok *Bacillus* türünde lipaz aktivitesine bakılmıştır. Bizim çalışmamızda Aydın ve Denizli sıcak su kaynaklarından izole edilen termofilik bakteri, *Alkalihalobacillus halodurans*'ın çalışılan otuz izolat arasında en yüksek lipaz aktivitesine sahip olduğu tespit edilmiştir. Chang ve ark. tarafından yapılan çalışmada, 16S rDNA sekans analizi sonucu a-amilaz enzimi elde edilen DAU5 suşunun *Exiguobacterium profundum* 10C

#### 4. Sonuç

Aydın ve Denizli çevresinden izole edilmiş termofilik bakterilerden lipaz, amilaz ve proteaz enzim aktiviteleri görüntülenmiştir. Otuz izolat içerisinde yüksek enzim aktivitelerine sahip birçok suş tespit edilmiştir. Otuz izolat arasında enzimleri üreten suşların yüzdesi; lipaz % 50, amilaz % 63.3, proteaz % 56.6'dır. Lipaz-proteaz üreten 3, amilaz-proteaz üreten 7 izolatın her iki enzimi ürettiği tespit edilmiştir. Lipaz-amilaz-proteaz üreten 6 izolatın her üç enzimi ürettiği tespit edilmiştir. Çalışmadaki bazı *Bacillus halodurans* ve *Bacillus paralicheniformis* suşlarının üçlü enzim üretimi yaptığı bununla birlikte diğer bazı, *Bacillus safensis*, *Exiguobacterium profundum*, *Bacillus halodurans*, *Bacillus paralicheniformis* suşlarının da ikili enzim üretimi yaptığı tespit edilmiştir.

Sonuç olarak, bu çalışmada elde edilen suşların ürettiği enzimler termostabil olduklarından endüstriyel açıdan yüksek değere sahiptir. İlaç, gıda, temizlik, deri, katı atık arıtma, kağıt ve tekstil endüstrilerinde kullanım potansiyeline sahiptir.

#### Kaynakça

ANONİM. Kaplıcaya Sahip Belediyeler Birliği. (2001).

Baker, G. C., Gaffar, S., Cowan, D. A., & Suharto, A. R. (2001). Bacterial community analysis of Indonesian hot springs. *FEMS Microbiology Letters*, 200(1), 103-109.

Bakir, Z. B., & Metin, K. (2016). Purification and characterization of an alkali-thermostable lipase from thermophilic *Anoxybacillus flavithermus* HBB 134. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 26(6), 1087-1097.

Başbülbül G., Dabanca M. B., Kaya K. G., Oryaşın E. ve Bozdoğan B. (2018). Acıgöl (Denizli)'den İzole Edilen Alkalifilik Bakterilerin Enzimatik Aktivitelerinin Araştırılması. *1st International Health Science And Life Congress (IHSLC 2018)*.

Castro-Ochoa, L. D., Rodríguez-Gómez, C., Valerio-Alfaro, G., & Ros, R. O. (2005). Screening, purification and characterization of the thermoalkalophilic lipase produced by *Bacillus thermoleovorans* CCR11. *Enzyme and Microbial Technology*, 37(6), 648-654.

Chang, J., Lee, Y. S., Fang, S. J., Park, I. H., & Choi, Y. L. (2013). Recombinant expression and characterization of an organic-solvent-tolerant  $\alpha$ -amylase from *Exiguobacterium* sp. DAU5. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 169(6), 1870-1883.

Connor, N., Sikorski, J., Rooney, A. P., Kopac, S., Koeppl, A. F., Burger, A., ... & Cohan, F. M. (2010). Ecology of speciation in the genus *Bacillus*. *Applied and Environmental Microbiology*, 76(5), 1349-1358.

bakterisine %99 oranında benzerliği tespit edilmiştir (Chang ve ark., 2013). Bu çalışmada ise *Exiguobacterium profundum* suşundan yüksek amilaz aktivitesi tespit edilmiştir. Rekik ve arkadaşları tarafından *Bacillus safensis* RH12 suşundan serin alkalın proteaz enzimi elde edilmiş ve ticari çamaşır deterjanlarında %100 stabil kaldığı bildirilmiştir (Rekik ve ark., 2019). Bizim çalışmamızda OB3 koduna sahip olan ve en yüksek homolojiyi *Bacillus safensis* türü ile gösteren izolatımızda yüksek proteaz aktivitesi görüntülenmiştir.

de Souza, P. M. & e Magalhães, P. de O. (2010). Application of microbial  $\alpha$ -amylase in industry - a review. *Brazilian Journal of Microbiology* 41, 850-861.

Fitriani, S., & Güven, K. (2018). Isolation, screening, partial purification and characterization of protease from halophilic bacteria isolated from Indonesian fermented food. *Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi-C Yaşam Bilimleri Ve Biyoteknoloji*, 7(2), 130-142.

Güven, R. G. (2011). Termofilik bakteriler ve biyoteknolojik açıdan önemli bazı enzimleri. *Elektronik Mikrobiyoloji Dergisi TR*, 9(1), 1-10.

Lessuisse, E., Schanck, K., & Colson, C. (1993). Purification and primary characterization of the extracellular lipase of *Bacillus subtilis* 168, an extreme basic tolerant enzyme. *Eur. J. Biochem*, 216, 155-160.

Mohammad, B. T., Al Daghistani, H. I., Jaouani, A., Abdel-Latif, S., & Kennes, C. (2017). Isolation and characterization of thermophilic bacteria from Jordanian hot springs: *Bacillus licheniformis* and *Thermomonas hydrothermalis* isolates as potential producers of thermostable enzymes. *International journal of microbiology*, 2017.

Nawani, N., & Kaur, J. (2007). Studies on lipolytic isoenzymes from a thermophilic *Bacillus* sp.: Production, purification and biochemical characterization. *Enzyme and Microbial Technology*, 40(4), 881-887.

Royter, M., Schmidt, M., Elend, C., Höbenreich, H., Schäfer, T., Bornscheuer, U. T., & Antranikian, G. (2009). Thermostable lipases from the extreme thermophilic anaerobic bacteria *Thermoanaerobacter thermohydrosulfuricus* SOL1 and *Caldanaerobacter subterraneus* subsp. *tengcongensis*. *Extremophiles*, 13(5), 769-783.

Ramnath, L., Sithole, B., & Govinden, R. (2017). Identification of lipolytic enzymes isolated from bacteria indigenous to Eucalyptus wood species for application in the pulping industry. *Biotechnology Reports*, 15, 114-124.

Rekik, H., Jaouadi, N. Z., Gargouri, F., Bejar, W., Frikha, F., Jmal, N., ... & Jaouadi, B. (2019). Production, purification and biochemical characterization of a novel detergent-stable serine alkaline protease from *Bacillus safensis* strain RH12. *International Journal of Biological Macromolecules*, 121, 1227-1239.

Sulong, M. R., Rahman, A., & RN, S. AB, & Basri, MA (2006). Novel organic solvent tolerant lipase from *Bacillus sphaericus* 205y: extracellular expression of a novel OST-lipase gene. *Protein Expression and Purification*, 49(2), 190-195.



# Drying Characteristics and Mathematical Modeling of Without Pretreatment and Pretreatment Zucchini (*Cucurbita Pepo L.*) Slices in a Solar Tunnel Dryer

Sevil Karaaslan<sup>1\*</sup>, Kamil Ekinci<sup>2</sup>, Barbaros S. Kumbul<sup>3</sup>

<sup>1\*</sup> Isparta University of Applied Science, Faculty of Agriculture, Department of Agricultural Machinery and Technologies Engineering, Isparta, Turkey, (ORCID: 0000-0002-2289-8005), [sevilkaraaslan@isparta.edu.tr](mailto:sevilkaraaslan@isparta.edu.tr)

<sup>2</sup> Isparta University of Applied Science, Faculty of Agriculture, Department of Agricultural Machinery and Technologies Engineering, Isparta, Turkey, (ORCID: 0000-0002-7083-5199), [kamilekinci@isparta.edu.tr](mailto:kamilekinci@isparta.edu.tr)

<sup>3</sup> Isparta University of Applied Science, Faculty of Agriculture, Department of Agricultural Machinery and Technologies Engineering, Isparta, Turkey, (ORCID: 0000-0002-7379-7597), [barbaroskumbul@gmail.com](mailto:barbaroskumbul@gmail.com)

(First received 19 August 2021 and in final form 24 September 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.984997)

**ATIF/REFERENCE:** Karaaslan, S., Ekinci, K. & Kumbul, B.S. (2021). Drying Characteristics and Mathematical Modeling of Without Pretreatment and Pretreatment Zucchini (*Cucurbita Pepo L.*) Slices in a Solar Tunnel Dryer. *European Journal of Science and Technology*, (27), 575-582.

## Abstract

With/without pretreated zucchini samples were dried in a solar tunnel dryer to determine drying characteristic and modelling. Solar irradiation at ambient, drying air temperature and air velocity at specific intervals in various parts of the dryer were measured. In the study, it was investigated how pretreatment of zucchini affected the drying time, moisture ratio and drying rate of it in solar tunnel dryer. In addition, the data on the drying process were applied to eight different mathematical models (Newton, Page, Henderson and pabis, Logarithmic, Diffusion, Midilli *et al.*, Alibas, Logistic Equation Models). The performance levels of the models compared according to  $R^2$ ,  $\chi^2$ , besides RMSE between moisture ratios that were observed and predicted. Furthermore, considering all selected models, Midilli *et al.* and Alibaş model equations gave the highest  $R^2$ , the lowest  $\chi^2$  and RMSE values and were found to reveal the ratio of drying in a satisfactory way for all the methods of drying.

**Keywords:** Solar tunnel dryer, Zucchini, Mathematical modelling.

## Ön İşlemsiz ve Ön İşlemli Kabak (*Cucurbita Pepo L.*) Dilimlerinin Tünel Tipi Güneşli Kurutucuda Kurutma Özellikleri ve Matematiksel Modellemesi

### Öz

Ön işlemsiz ve ön işlemli kabak örnekleri, kurutma karakteristiği ve modellemeyi belirlemek için tünel tipi güneş enerjili kurutma yöntemi kullanılarak kurutulmuştur. Araştırmacılar, kurutucunun çeşitli bölümlerinde belirli aralıklarla ortam ve kurutma havası sıcaklıklarında ve hava hızında güneş ışınımını ölçmüştür. Çalışmada, güneş enerjisiyle kurutmanın ön işlemsiz ve ön işlemli kabak örneklerinin kuruma süresini, nem oranını ve kuruma hızını nasıl etkilediği araştırılmıştır. Ayrıca kurutma işlemine ilişkin veriler, Newton, Page, Henderson ve pabis, Logaritmik, Difüzyon, Midilli ve ark. Alibas, Lojistik isimli 8 farklı matematiksel modele uygulanmıştır. Araştırmacılar, modellerin performans düzeylerini korelasyon katsayısı ( $R^2$ ), ki-kare değeri ( $\chi^2$ ) ve gözlemlenen ve tahmin edilen nem oranları arasındaki ortalama hata karesi (RMSE) ile karşılaştırmışlardır. Ayrıca, seçilen tüm modeller dikkate alındığında Midilli ve ark. ve Alibaş model denklemleri en yüksek  $R^2$ , en düşük  $\chi^2$  ve RMSE değerlerini vermiş ve tüm kurutma yöntemleri için kuruma oranını tatmin edici bir şekilde ortaya koyduğu bulunmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Tünel tipi güneşli kurutucu, Kabak, Matematiksel modelleme.

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

## 1. Introduction

Vegetables are often consumed raw in Turkey. Turkey has an important place in the world production of fresh vegetables. However, in recent years, the consumption of dry vegetables has increased gradually due to the fact that people prefer food that can be cooked more easily and quickly. They are highly preferred as they can be used directly in the production of dry vegetables, instant soups, baby food and sauces. Based on Food and Agriculture Organization (FAO), approximately 92% of our total dried vegetable exports are tomatoes. Other important dried vegetables in exports are mushrooms, eggplant and zucchini. According to the data of 2020, most of the dried eggplant was exported to Germany, followed by France and the Netherlands. Germany is the country where most of the exports are made in dried pumpkin, and France and Italy are in the second and third place (Kutlu, 2013).

Open sun drying is a primitive method used in most of the developing countries for drying many different products. However, the process takes a long time (approximately 10-15 days) due to uninterrupted solar energy, seasonal fluctuations and sudden rainfall, and thus the quality of the product is negatively affected. This negative situation can be eliminated by using solar drying technology (Karthikeyan and Murugavelh, 2018).

Tunnel and cabinet drying systems are the most used convective dryers for drying vegetables and fruits. Generally, this type of drying system is preferred more due to ease of design and economic reasons (Çetin, 2019).

Solar drying is a technique that has been used since ancient times to dry plants, seeds, vegetables, fruits, meat, fish, wood and other agricultural forest products. Passive solar cabinet dryers are generally simply built and inexpensive units with high applications for domestic purposes. These dryers with solar energy have a drying area of 1-2 m<sup>2</sup> and a drying capacity of 10-20 kg and are suitable for drying various products. In the study by Mulato et al. (1999), a solar tunnel dryer with a drying capacity of 25 kg/m<sup>2</sup>, built with an auxiliary fan, was tested in Indonesia.

Many studies have been reported in the literature with many different types of solar dryers used for drying various agricultural products such as chili pepper, red chili. (Rabha et al., 2017; Rabha and Muthukumar, (2017); Banout et al., (2011).

Main aims of this study were to; (1) dry zucchini slices in a solar tunnel dryer, (2) determine the effect of pretreatment on drying properties (3) fit eight semi-empirical film models to experimental drying data.

## 2. Material and Method

The zucchini (*Cucurbita pepo*) used in this study was purchased from a market in Isparta (Turkey). Then, the zucchini kept in the refrigerator at 4°C before drying, they were hand washed and filtered, peeled and cut into slices of about 50 mm in diameter and about 3, 6 and 9 mm thick using a kitchen slicer. The initial moisture content of zucchini was found to be 90.24 ± 0.2 % (w.b). Drying was continued to a final moisture content of about 10 ± 0.5% (w.b).

Boiling was carried out by soaking 100 g of zucchini samples in 200 g of boiling water for 2 minutes. The temperature of the water was 91.7 °C.

The solar tunnel solar dryer was designed and installed on the land by the Isparta University of Applied Sciences, Department of Agricultural Machinery and Technologies Engineering (Figure 1). The dryer used in the study consisted of a drying tunnel, a flat plate solar collector, a small axial fan, and a solar cell module. All parts are located on a frame made of metal. The solar collector has hexagonal channels. Its base is painted black and is directly connected to the drying tunnel. The solar collector is covered with a transparent polycarbonate sheet. A 150-W solar cell module is installed in the dryer to move the air by means of the fan support. The collector has as surface area that is 2 m long and 1.9 m wide. The area of the drying tunnel is exactly twice the area of the collector. The solar tunnel dryer faces south in the east-west direction and does not have shade between 9:00 am and 5:00 pm.



Figure 1. The experimental solar tunnel dryer

Solar radiation values were measured on a flat horizontal surface between 09:00 and 17:00 hourly with a pyranometer. In the solar tunnel type dryer, drying air temperature and relative humidity were measured by using K type thermocouples and DT-3 hygrometer, respectively. The velocity of the drying air, which is another drying value, was measured outside the dryer with a hotwire anemometer.

The content of moisture was calculated by drying 50 grams of zucchini in a hot air oven at 105°C for 24 h. The measurement was performed three times for each experiment and averaged.

The moisture ratio (MR) of the zucchini samples was determined (1) using the Equation (1) below.

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_0 - M_e} \quad (1)$$

where,  $M_t$ ,  $M_0$ , and  $M_e$  are the moisture content at time  $t$ , the initial moisture content and equilibrium moisture content of the zucchini sample ( $\text{kg}_{\text{water}} \text{kg}_{\text{dry matter}}^{-1}$ ), respectively.  $M_e$  is relatively small for a long drying time compared to  $M_t$  or  $M_0$ . Therefore,  $M_e$  is accepted as numerically zero in this study. Thus,  $MR$  can be simplified as  $MR = M_t / M_0$ . (Tunckal & Doymaz, 2020).

The drying rate was a highly significant parameter in terms of drying kinetics. In order to reveal the relationship between the drying time of the zucchini slices and the drying speed, the drying speed was determined as follows:

$$\frac{\Delta M}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} (M_{t+\Delta t} - M_t / \Delta t) \quad (2)$$

where  $\Delta M / \Delta t$  is the drying rate ( $\text{kg}_{\text{water}} \text{kg}_{\text{dry matter}}^{-1} \text{min}^{-1}$ ),  $M$  is the moisture content of the sample at any time ( $\text{kg}_{\text{water}} \text{kg}_{\text{dry matter}}^{-1}$ )

<sup>1</sup>), t is time (min) Δt is time increment (min) (Kutlu and Isci, 2017).

Mathematical modeling has a great importance in Food Engineering applications as well as in other engineering applications (Robe 1990). Mathematical modeling is used to examine processes such as drying, cooling, freezing, and heating

Table 1. Mathematical models used in drying processes of agricultural products

No	Mathematical models	References
1	MR=exp(-kt)	Newton Henderson (1974)
2	MR=exp(-kt <sup>n</sup> )	Page Zhang and Litchfield (1991)
3	MR=aexp(-kt)	Henderson and Pabis Henderson and pabis (1961)
4	MR=aexp(-kt)+c	Logarithmic Karathanos (1999)
5	MR=aexp(-kt)+(1-a)exp(-kbt)	Diffusion Yaldız et al. (2001)
6	MR=aexp(-k(t <sup>n</sup> )+bt)	Midilli et al. Midilli et al.(2002)
7	MR = aexp((-k.t <sup>n</sup> )+(bt))+g	Alibas Alibas (2012)
8	MR=a0/(1+aexp(kt))	Logistic Chandra & Singh (1995)

Mathematical models were used to explain the drying properties of agricultural products. Drying curves were simulated using eight empirical models (Table 1).

The models were evaluated based on Root mean square error (RMSE), chi-squared (χ<sup>2</sup>), coefficient of determination (R<sup>2</sup>), were used to determine the quality of the fit. Highest value of R<sup>2</sup> and lower values of χ<sup>2</sup> and RMSE were adjudged the best fit (Loague ve Green 1991, Pangavhane vd. 1999). These can be calculated as:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{pre,i} - MR_{exp,i})^2}{\sum_{i=1}^N (MR_{pre,i} - MR_{pre,i})^2} \quad (3)$$

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{exp,i} - MR_{pre,i})^2}{N - Z} \quad (4)$$

$$RMSE = \left[ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (MR_{pre,i} - MR_{exp,i})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

where MR<sub>exp,i</sub> and MR<sub>pre,i</sub> are the experimental are the experimental and predicted dimensionless MR respectively, N is the number of observations, and Z is the number of drying constants.

Sigma Plot (Scientific Graph System, version 12.00) software was used to perform the statistical analysis. Non-linear regression analysis was carried out by means of Sigma-Plot (version 12.00) in order to calculate equation parameters. The results of the regression analysis include R<sup>2</sup>, χ<sup>2</sup>, and RMSE for microwave drying of zucchini samples under solar tunnel drying, shade and various microwave output powers.

in foods (Devres and Pala, 1993). In particular quasi-theoretical and empirical models have been improved by some searchers to explain drying curves. The most used models in the drying processes of agricultural products are given in Table 1.

### 3. Results and Discussion

Zucchini slices were dried with a solar tunnel type dryer in July in 2019. Figure 2 shows the drying air temperature pattern. During the drying experiments, the drying air temperature varied between 29.3 and 51.8 °C. The changes in solar radiation and air velocity during drying are given in figure 2. The velocities obtained from the fans peaked at midday and ranged from approximately 0.22 to 0.88 m s<sup>-1</sup> (Figure 2). The fan is uncontrollable, and this fan has been running continuously due to the solar cell module supplying power. In addition, more energy obtained by the collector with excess solar radiation caused the drying air temperature to increase. Air velocity changed as a function of solar irradiation due to solar cell dependency. Solar radiation values reached their highest values at the noon time and varied between 200 and 692.67 W.m<sup>-2</sup>. Alıç and Daş (2020) presented a computational fluid dynamics (CFD) simulation of solar collectors developed especially for drying agricultural products. Air was used as the working fluid in the analysis. As a result, insolation factors of Elazig climatic conditions at some hours of the day were determined for the fixed HGK.

In the drying experiments, boiled and unboiled zucchini slices in three different slice thicknesses as 3, 6, 9 mm were used. With the moisture determination method applied before drying, the moisture content of the samples on wet basis was found to be 90.24% and the dry matter rate 19,45%. With the drying process, the moisture content of the samples was taken to 15% on wet basis. The drying graphics of the samples after the drying process applied are given in Figure 2. As seen in Table 2, the drying times of the samples dried by applying pre-treatment (boiling) were found to be shorter than the samples dried without pre-treatment. However, the 3mm slice thickness pre-treated and non-pre-treated zucchini samples dried at the same time. The reason for this can be thought to be due to the small slice thickness.

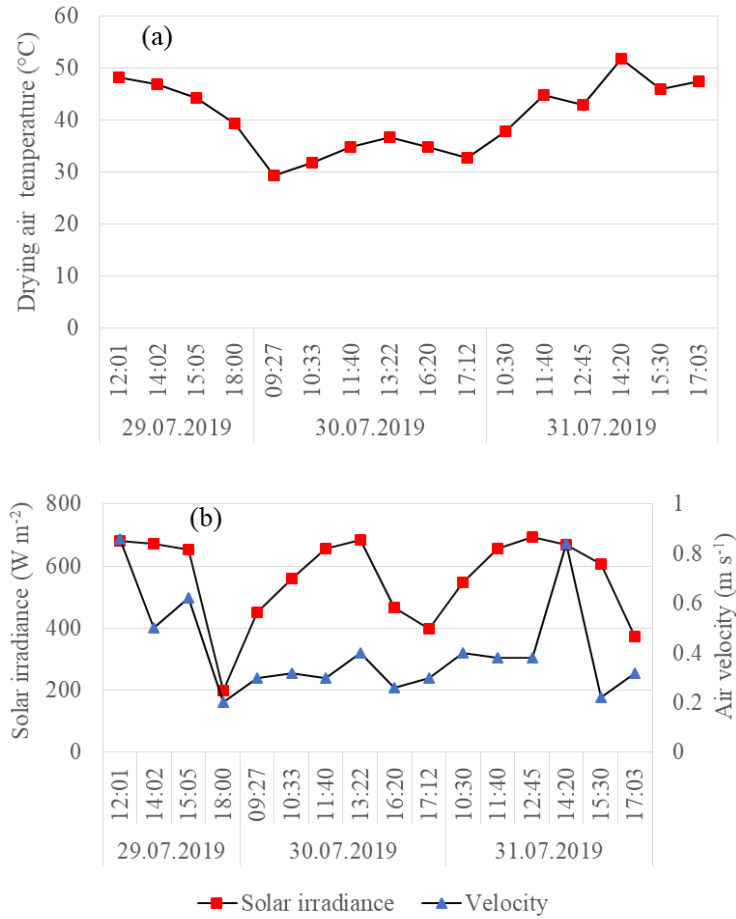


Figure 2. Change of drying air temperature (a) and solar irradiance and air velocity of drying air at the outlet of drying tunnel as a function of time

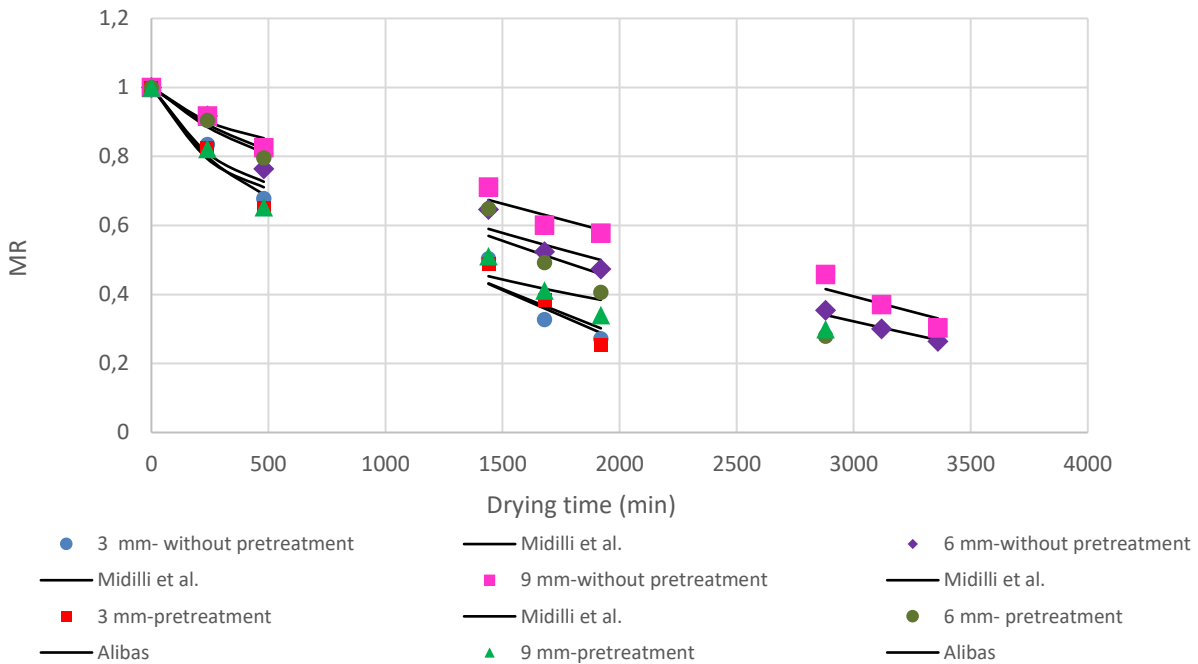


Figure 3. Comparison of the experimental curve obtained with the estimated data on the Alibas and Midilli et al. equations during zucchini drying with the solar tunnel drying method

Total drying times of 1920, 2880 and 2880 minutes were determined for zucchini samples with 3, 6 and 9 mm slice thickness, which were pretreated (boiled) under solar tunnel type drying conditions, respectively. On the other hand, total drying times of 1920, 3360 and 3360 minutes were determined for 3, 6, and 9 mm zucchini samples which were dried in the same dryer, respectively. When all results are evaluated in terms of total drying time, the expected shortest total drying time (1920 min) was obtained by drying 3 mm thick samples both with and without pretreatment, while the longest time (3360 min) was obtained from 6 and 9 mm sample thicknesses under without pretreatment drying conditions (Fig. 3). In this study, pre-treated zucchini samples were dried in a shorter time at all three sample thicknesses. Therefore, pretreatment application is important in drying works. Similar results were also reported for food products by earlier researchers. This finding shows that the drying times of the zucchini samples are affected by the product thickness rather than the temperature of the air. In the literature, there is no study examining the effect of the thickness of zucchini samples on drying. As different material, Doymaz (2014) dried the carrot in different thicknesses (1 and 2 cm), different air velocities (0.5 and 1 m / s) and different temperatures (50-70 ° C). In this practice, the drying time at 60° C was reduced by 41% by halving the thickness.

Figure 4 shows the variation of drying time and drying rate of zucchini samples dried with and without pretreatment at different slice thicknesses in a solar tunnel drying system. Accordingly, the total drying rates were determined as 0.000307 kg [H<sub>2</sub>O] kg<sup>-1</sup>dry solids.min for 3mm sample thickness, 0.000152 kg [H<sub>2</sub>O] kg<sup>-1</sup>dry solids.min for 6 mm, and 0.000154 kg [H<sub>2</sub>O] kg<sup>-1</sup>dry solids.min for 9 mm for the without pretreatment, respectively. The total drying rates to reach the final moisture content of the pretreated zucchini samples were 0.000324, 0.000171 and 0.00029 kg at sample thicknesses of 3 mm, 6 mm and 9 mm, respectively.

All of the zucchini drying methods have occurred in the falling drying rate period. In addition, there is no constant rate drying period in the drying rate curves. Parallel effects were acquired in the study by Yaldız et al. (2001) for sultana grape.

As the thickness decreases, the drying time decreases as the drying rate increases. At the same time, by reducing the thickness to half at the same temperature values, drying times decreased by an average of 57% for all zucchini samples. Akpınar and Biçer (2003) dried zucchini samples at 60, 70 and 80 ° C in a cyclone-type dryer and similarly reported that the drying rates were in the falling rate drying period and the drying rate increased as the temperature increased.

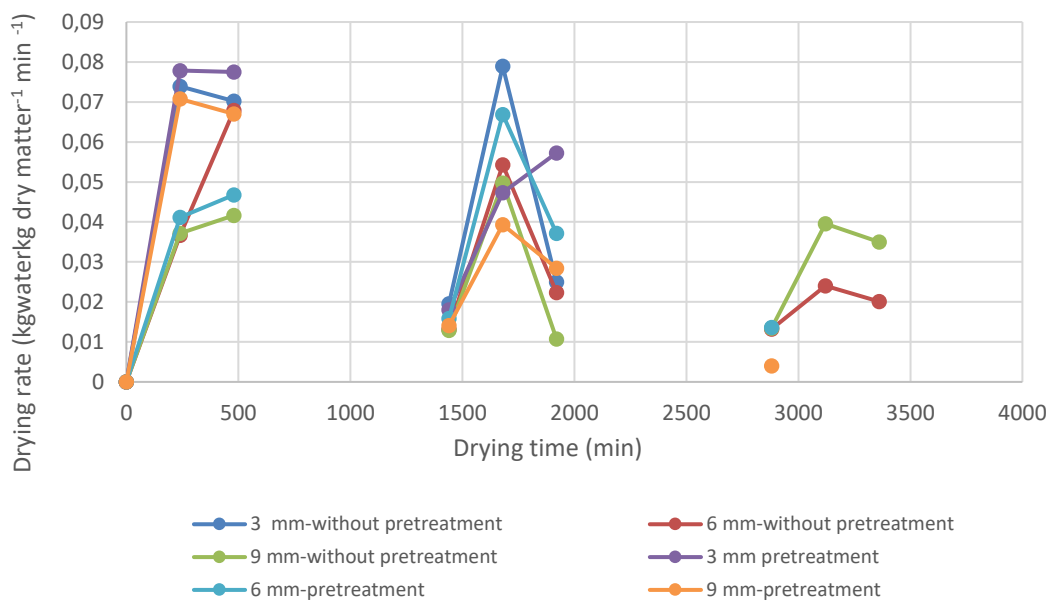


Figure 4. Variation of drying rate depending on the drying time in the solar tunnel

The drying data obtained as a result of the experiment were adapted to eight thin layer drying models (Table1). Table 2 shows the statistical results for all models for each drying application evaluated. The performance of the models used in the study was commented with respect to R<sup>2</sup>,  $\chi^2$  and RMSE, which represent the coefficient of determination, reduced chi-square and the root mean square error of non-linear regression analysis, respectively. R<sup>2</sup> value (the highest) and  $\chi^2$  and RMSE values (the lowest) we used to determine the performance of 8 different model equations show how fit the model equation is. Statistical results for each

model are shown in Table 2, R<sup>2</sup>,  $\chi^2$  and RMSE were within 0,9328 to 0,9874, 0,00133 to 0,00656 and 0,02563 to 0,06271 ranges, respectively for all methods and models. Considering all selected models, Midilli et al. and Alibaş model equations give the highest R<sup>2</sup>, the lowest  $\chi^2$  and RMSE values.



Table 2. Estimated and statistical data obtained from drying models.

Models	Thickness of Zucchini	Applications											
			a	a <sub>0</sub>	a <sub>1</sub>	b	c	g	k	n	R <sup>2</sup>	RMSE	χ <sup>2</sup>
Newton	3mm	Without pretreatment	-	-	-	-	-	-	0.0006	-	0.9628	0.05062	0.00561
		Pretreatment	-	-	-	-	-	-	0.0006	-	0.9503	0.05695	0.00656
	6mm	Without pretreatment	-	-	-	-	-	-	0.0004	-	0.9825	0.03331	0.00174
		Pretreatment	-	-	-	-	-	-	0.0004	-	0.9704	0.04266	0.00350
	9mm	Without pretreatment	-	-	-	-	-	-	0.0003	-	0.9756	0.03573	0.00257
		Pretreatment	-	-	-	-	-	-	0.0005	-	0.9328	0.06271	0.00820
Page	3mm	Without pretreatment	-	-	-	-	-	-	0.0016	0.8716	0.9683	0.04671	0.00546
		Pretreatment	-	-	-	-	-	-	0.0026	0.8006	0.9655	0.04746	0.00570
	6mm	Without pretreatment	-	-	-	-	-	-	0.0005	0.9628	0.9829	0.03293	0.00181
		Pretreatment	-	-	-	-	-	-	0.0002	1.0675	0.9714	0.04194	0.00318
	9mm	Without pretreatment	-	-	-	-	-	-	0.0002	1.0639	0.9765	0.03505	0.00232
		Pretreatment	-	-	-	-	-	-	0.0055	0.6829	0.9819	0.03256	0.00223
Henderson and Pabis	3mm	Without pretreatment	0.9741	-	-	-	-	-	0.0006	-	0.9656	0.04866	0.00536
		Pretreatment	0.9608	-	-	-	-	-	0.0006	-	0.9571	0.05291	0.00592
	6mm	Without pretreatment	0.9866	-	-	-	-	-	0.0004	-	0.9832	0.03265	0.00173
		Pretreatment	1.0003	-	-	-	-	-	0.0004	-	0.9704	0.04266	0.00350
	9mm	Without pretreatment	0.9946	-	-	-	-	-	0.0003	-	0.9757	0.03562	0.00259
		Pretreatment	0.9335	-	-	-	-	-	0.0005	-	0.9528	0.05253	0.00544
Logarithmic	3mm	Without pretreatment	0.9559	-	-	-	0.0196	-	0.0006	-	0.9656	0.04868	0.00543
		Pretreatment	0.8012	-	-	-	0.1779	-	0.0009	-	0.9589	0.05181	0.00656
	6mm	Without pretreatment	1.0916	-	-	-	-0.1121	-	0.0003	-	0.9839	0.03201	0.00155
		Pretreatment	1.4380	-	-	-	-0.4519	-	0.0002	-	0.9746	0.03949	0.00282
	9mm	Without pretreatment	2.4808	-	-	-	-1.5088	-	0.0008	-	0.9836	0.02925	0.00153
		Pretreatment	0.6992	-	-	-	0.2802	-	0.0010	-	0.9752	0.03812	0.00302

Models	Thickness of Zucchini	Applications											
			a	a <sub>0</sub>	a <sub>1</sub>	b	c	g	k	n	R <sup>2</sup>	RMSE	χ <sup>2</sup>
Diffusion	3mm	Without pretreatment	0.0603	-	-	0.0004	-	-	1.3060	-	0.9694	0.04591	0.00513
		Pretreatment	1.0000	-	-	1.0000	-	-	0.0006	-	0.9503	0.05695	0.00656
	6mm	Without pretreatment	1.0000	-	-	1.0000	-	-	0.0004	-	0.9825	0.03331	0.00174
		Pretreatment	1.0000	-	-	1.0000	-	-	0.0004	-	0.9704	0.04266	0.00350
	9mm	Without pretreatment	1.0000	-	-	1.0000	-	-	0.0003	-	0.9756	0.03573	0.00257
		Pretreatment	1.0000	-	-	1.0000	-	-	0.0005	-	0.9328	0.06271	0.00820
Midilli et al.	3mm	Without pretreatment	1.0002	-	-	-0.0003	-	-	0.0468	0.1899	0.9766	0.04010	0.00338
		Pretreatment	1.0004	-	-	-0.0002	-	-	0.0464	0.2272	0.9735	0.04163	0.00367
	6mm	Without pretreatment	1.0032	-	-	-0.0007	-	-	0.0024	0.6856	0.9866	0.02918	0.00133
		Pretreatment	0.9875	-	-	-0.0004	-	-	-0.0005	1.2366	0.9752	0.03904	0.00275
	9mm	Without pretreatment	1.0002	-	-	-0.0002	-	-	0.0229	0.1729	0.9874	0.02563	0.00126
		Pretreatment	1.0021	-	-	0.0001	-	-	0.0046	0.7143	0.9821	0.03238	0.00219
Alibas	3mm	Without pretreatment	1.0577	-	-	0.9994	-	-6.0711	0.9996	1.0000	0.9717	0.04413	0.00449
		Pretreatment	2.1661	-	-	0.9996	-	-1.1775	1.0003	0.9999	0.9668	0.04654	0.00524
	6mm	Without pretreatment	-0.5352	-	-	0.0004	-	1.0277	0.8740	-0.0008	0.9387	0.06238	0.00630
		Pretreatment	1.7263	-	-	-0.0002	-	-0.7263	0.0195	0.0007	0.9757	0.03864	0.00278
	9mm	Without pretreatment	-0.4417	-	-	0.0004	-	1.0282	0.9175	-0.0002	0.9651	0.04273	0.00255
		Pretreatment	1.2445	-	-	0.0009	-	-0.2427	0.0033	0.8693	0.9822	0.03223	0.00219
Logistic	3mm	Without pretreatment	-2.2735	-1.2604	-	-	-	-	0.0004	-	0.9670	0.04767	0.00564
		Pretreatment	-0.0008	-0.0089	-	-	-	-	0.0006	-	0.9571	0.05291	0.00592
	6mm	Without pretreatment	5.2287	6.1119	-	-	-	-	0.0004	-	0.9834	0.03244	0.00163
		Pretreatment	1.8444	0.8818	-	-	-	-	0.0007	-	0.9743	0.03972	0.00275
	9mm	Without pretreatment	0.7185	1.6688	-	-	-	-	0.0005	-	0.9816	0.03104	0.00177
		Pretreatment	-0.0002	-0.0001	-	-	-	-	0.0005	-	0.9528	0.05253	0.00544

## 4. Conclusions and Recommendations

This study investigated the drying properties of without pretreatment and pretreatment zucchini samples in different slice thicknesses at varying air temperatures. The drying of zucchini samples at each temperature took place in the falling rate period; the study found out no constant rate period of drying. This study used the experimental data for without pretreatment and pretreatment zucchini samples in order to assess various thin-layer drying models. Of these, the Alibas and Midilli et al. model equations produced optimum results among all zucchini samples of three different slice thicknesses, dried with and without pretreatment. The association of the model parameters and the drying conditions was revealed and reported in order to estimate the moisture ratio according to the drying time.

## References

- Akpınar E., Biçer Y. (2003). Investigation of Drying Behaviour of Pumpkin in a Cyclone Type Dryer, Gazi University Journal of Science, 16(1), pp: 159-169.
- Alibaş, İ. (2012). Microwave Drying of Grapevine (*Vitis vinifera* L.) Leaves and Determination of Some Quality Parameters. Journal of Agricultural Sciences, 18 (1), 43-53. Thompson Seedless Grapes. Journal Food Engineering, Vol. 39; pp. 211-216.
- Alıç, E., Daş, M. (2020). Experimental Design and Numerical Analysis of a Trapezoidal Absorber Plate Air Solar Collector. European Journal of Science and Technology. Special Issue, pp. 78-88, November 2020.
- Banout J., Ehl P., Havlik J., Lojka B., Polesny Z., Verner V. (2011). Design and performance evaluation of a Double-pass solar drier for drying of red chili (*Capsicum annum* L.). Sol. Energy, 85, pp.506-515.
- Chandra, P.K., & Singh, R. P. (1995). Applied numerical methods for food and agricultural engineers. Boca Raton, FL: CRC Press, pp. 163– 167.
- Çetin, N. (2019). Effect of Drying Conditions on Color Properties of Apples and Oranges. European Journal of Science and Technology No. 17, pp. 463-470.
- Devres, Y.O., Pala M. (1993). Importance and application areas of mathematical modelling in food industry. Food. 18 (3) pp: 173-181.
- Doymaz, I. (2014). Convective air drying characteristics of thin layer carrots, Journal of Food Engineering, Volume 61, Issue 3, Pages 359-364.
- FAOSTAT, (2020). <http://www.fao.org/faostat/>
- Henderson, S.M., Pabis, S. (1961). Grain drying theory I: Temperature effect on drying coefficient. Journal of Agricultural Research Engineering, 6, 169-174.
- Henderson S.M. (1974) Progress in developing the thin layer drying equation. Transactions of the ASAE 17: 1167–1172.
- Karathanos V.T. (1999). Determination of water content of dried fruits by drying kinetics. J Food Eng 39: 337–344.
- Karthikeyan A.K., Murugavelh S. (2018). Thin layer drying kinetics and exergy analysis of turmeric (*Curcuma longa*) in a mixed mode forced convection solar tunnel dryer. Renewable Energy. Vol: 128, Part A, Pp: 305-312.
- Kutlu N. (2013). Determination And Modeling of Tomato, Zucchini and Eggplant's Drying Characteristics. Master Thesis. Ankara University Graduate School of Natural and Applied Science Department of Food Engineering. Pp:135
- Kutlu N., Isci A. (2017). Drying Characteristics of Zucchini and Empirical Modeling of Its Drying Process. International Journal of Food Studies IJFS. Volume 6 pages 232–244.
- Loague, K. and Green, R.E. 1991. Statistical and Graphical Methods for Evaluating Solute Transport Models. Overview and Application. J. Contam, Hydrol., Vol:7; pp. 51-73.
- Midilli A, Kucuk H & Yapar Z (2002). A new model for single layer drying. Drying Technology 20(7):1503-1513
- Mulato, S., Atmawinata, O., Yusianto, Handaka, Pass, T., Muehlbauer, W., Esper, A. (1999). Development of a Solar Cocoa Processing Center for Cooperative Use in Indonesia, *The Planter*, 75(875), pp. 57-74.
- Pangavhane, D.R., Sawhney, R.L. and Sarsavadia, P.N. (1999) Effect of various dipping pretreatment on drying kinetics of Thompson seedless grapes. Journal of Food Engineering, 39, 211-216.
- Rabha, D.K. Muthukumar, P, Somayaji C. (2017). Experimental investigation of thin layer drying kinetics of ghost chili pepper (*Capsicum Chinense* Jacq.) dried in a forced convection solar tunnel dryer. Renew. Energy, 105 (2017), pp. 583-589.
- Rabha, D.K., Muthukumar P. (2017). Performance studies on a forced convection solar dryer integrated with a paraffin wax based latent heat storage system. Sol. Energy, 149 (2017), pp. 214-226
- Robe, K. 1990. CIM-The big Picture, 1980's: Computer Integrated Manufacturing, 1990's: Computer Integrated Management. Food Processing, Putman Publication, pp. 37-48.
- Tunckal C., İ. Doymaz (2020) Performance analysis and mathematical modelling of banana slices in a heat pump drying system. Renewable Energy. 150, 918-923.
- Yaldiz O., Ertekin C., & Uzun, H. I. (2001). Mathematical modelling of thin layer solar drying of Sultana grapes. Energy, 26(5), 457- 465.
- Zhang Q, Litchfield J.B. (1991) An optimization of intermittent corn drying in a laboratory scale thin layer dryer. Dry Technol 9: 383–395.



## **Mısır Tarımında Enerji Bilançosunun Belirlenmesi (*Zea Mays L.*)**

Yusuf Dilay<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Karaman, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-5365-5137), ydilay@kmu.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 03 Ağustos 2021 ve Kabul Tarihi 24 Eylül 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.978458)

**ATIF/REFERENCE:** Dilay, Y. (2021). Mısır Tarımında Enerji Bilançosunun Belirlenmesi (*Zea Mays L.*). *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (27), 583-587.

### **Öz**

Bu çalışmada, Türkiye'nin Karaman ili merkeze bağlı Taşkale köyünde mısır tarımında enerji bilançosunun belirlenmesi amaçlanmıştır. Denemeler Taşkale'de bulunan bir mısır üreticisinin işletmesinde gerçekleştirilmiştir. Denemelerde, enerji girdileri; insan işgücü enerjisi, makine enerjisi, dizel yakıt enerjisi, kimyasal gübre enerjisi, tohumluğun enerjisi ve sulama suyunun enerjileri olarak sınıflandırılmıştır. Üretim süresince bunların her birinin tüketimleri ayrı ayrı tespit edilerek girdi enerjileri hesaplanmıştır. Çıktı enerjisi ise, hasat edilen mısırın miktarı tespit edilerek, çıktı enerjisi hesaplanmıştır. Çalışmanın sonucunda mısır üretiminde enerji girdi ve çıktı değerleri 18029.78 MJ ha<sup>-1</sup> ve 218700 MJ ha<sup>-1</sup> olarak hesaplanmıştır. Girdi enerjileri; insan iş gücü 235.20 MJ ha<sup>-1</sup> (%1.30), makine 1575.29 MJ ha<sup>-1</sup> (%8.74), kimyasal gübreler 10910 MJ ha<sup>-1</sup> (%60.51), dizel yakıt 3348.19 MJ ha<sup>-1</sup> (%18.57), tohumluk 291.60 MJ ha<sup>-1</sup> (%1.62) ve sulama suyu 1669.5 MJ ha<sup>-1</sup> (%9.26) olarak hesaplanmıştır. Mısır üretiminde enerji oranı, özgül enerji, enerji üretkenliği ve net enerji üretimi sırasıyla; 12.13, 1.20 MJ kg<sup>-1</sup>, 0,83 kg MJ<sup>-1</sup> ve 200670.23 MJ ha<sup>-1</sup> olarak bulunmuştur. Mısır tarımında toplam enerji girdileri içerisinde yenilenemeyen enerji girdilerinin oranının %87.82 olduğu belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Enerji bilançosu, Enerji verimliliği, Mısır, Taşkale, Karaman.

## **Determination of Energy Balance in Maize Agriculture (*Zea Mays L.*)**

### **Abstract**

In this study, it was aimed to determine the energy balance in maize agriculture in Taşkale village of Karaman province in Turkey. The trials were carried out in the enterprise of a maize producer located in Taşkale. In the study, energy inputs; it was is classified as human labor energy, machine energy, diesel fuel energy, chemical fertilizer energy, seed energy and irrigation water energies. During the production, the consumptions of each of them were determined separately and their input energies were calculated. Output energy was calculated by determining the amount of harvested maize. As a result of the study, energy input and output values in maize production were calculated as 18029.78 MJ ha<sup>-1</sup> and 218700 MJ ha<sup>-1</sup>. Input energies; human labour 235.20 MJ ha<sup>-1</sup> (1.30%), machinery 1575.29 MJ ha<sup>-1</sup> (8.74%), chemical fertilizers 10910 MJ ha<sup>-1</sup> (60.51%), diesel fuel 3348.19 MJ ha<sup>-1</sup> (18.57%), seeds 291.60 MJ ha<sup>-1</sup> (1.62%) and irrigation water were calculated as 1669.5 MJ ha<sup>-1</sup> (9.26%). In maize production, energy ratio, specific energy, energy productivity and net energy production were respectively; it was found as 12.13, 1.20 MJ kg<sup>-1</sup>, 0.83 kg MJ<sup>-1</sup> and 200670.23 MJ ha<sup>-1</sup>. It was been determined that the rate of non-renewable energy inputs among the total energy inputs in maize agriculture is 87.82%.

**Keywords:** Energy balance, Energy productivity, Maize, Taşkale, Karaman.

\* Sorumlu Yazar: [ydilay@kmu.edu.tr](mailto:ydilay@kmu.edu.tr)

## 1. Giriş

Dünya genelinde ekim alanı açısından 3. sırada yer alan mısır, üretim miktarı bakımından ise ilk sıradadır. Türkiye’de 638.829 hektarlık alanda tarımı yapılarak, yıllık yaklaşık 6.000.000 ton üretim hasat edilmektedir (TÜİK, 2021). Birim alandan alınan ürün miktarının yüksek olması, diğer ürünlere kıyasla tarımsal mekanizasyon araçlarının daha yoğun kullanılabilmesi gibi nedenlerle ülke genelinde tarımı gündene artmaktadır. Dünyada üretilen mısırın büyük bir kısmı, gıda sektöründe ve hayvancılıkta kullanılırken, geri kalan kısmı ise, sanayide farklı sektörlerde kullanılmaktadır. Birim alandan yüksek tane verimi alınabilmesi ve çok fazla insan iş gücüne ihtiyaç duymaması nedeniyle günümüzde tarımsal üretimde önemli bir paya sahip olan mısır türleri, yedi grupta incelenebilmektedir. Bunlar; at dışı mısır, sert mısır, şeker mısır, cin mısırı, kavuzlu mısır, unlu mısır ve mumlu mısırdır (Sönmez ve ark., 2013). Karaman’ında yer aldığı İç Anadolu Bölgesinde ise, genellikle silajlık ve dane mısır tarımı yapılmaktadır.

Tarım ile enerji birbirinden ayıramayacak iki önemli kavramdır. Tarımsal ürünler hem enerji alan hem de enerji verendir (Baran ve Gökdoğan, 2020). Bu nedenle tarımda enerji kullanımı verimlilik ve sürdürülebilirlik açısından son derece büyük öneme sahiptir. Artan dünya nüfusunun gıda talebine karşın tarım alanlarının gittikçe azalması birim alandan daha fazla ürün almayı gerektirir. Bu durum tarımda yoğun bir enerji kullanımını kaçınılmaz kılmaktadır. Tarımsal üretimde minimum enerji girdileri ile maksimum verimin elde edilmesi her dönemde arzu edilen bir durumdur (Alam ve ark., 2005). Tarımda verimli enerji kullanımı ile maddi anlamda tasarruf yapılırken, aynı zamanda fosil yakıt tüketiminin ve hava kirliliğinin azaltılması da sağlanacaktır. Böylelikle sürdürülebilir tarımsal üretim yapılmış olacaktır (Uhlir, 1998; Azarpour ve ark., 2013).

Çeşitli tarımsal ürünlerin enerji bilançoları farklı araştırmacılar tarafından hesaplanmıştır. Mısır (Konak ve ark., 2004; Azarpour ve ark., 2013; Karaağaç ve ark., 2014), soya fasulyesi (Mandal ve ark., 2002), hardal (Mandal ve ark., 2002), buğday-mısır (Mani ve ark., 2007), çerezlik kabak (Baran ve Gökdoğan, 2020; Sağlam ve Çetin, 2018), patates (Mohammadi ve ark., 2008), salatalık (Mohammadi ve Omid, 2010), kanola (Mousavi-Avval ve ark., 2011), mercimek (Mirzae ve ark., 2011), mısır (Karaağaç ve ark., 2011), susam (İbrahim, 2011), arpa (Azizi ve Heidari, 2013), tütün (Loghmanpour-zarini ve Abedifrouzjaee, 2013), pirinç (Yadav ve ark., 2013; Baran ve ark., 2015), üzüm (Baran ve ark., 2017), narenciye (Yılmaz ve Aydın, 2020), domates (Saltuk, 2019a), nohut (Marakoğlu ve ark., 2010; Karaağaç ve ark., 2019), yerfıstığı (Baran ve ark., 2018, Saltuk, 2019b) ve limonun (Bilgili, 2012) enerji bilançosunu hesaplamışlardır. Bu çalışmada ise, Karaman ili Taşkale köyünde mısır tarımında enerji bilançosunun hesaplanması amaçlanmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

Karaman 37.033° Kuzey enlemleri ve 33.2785° Doğu boylamları arasında coğrafi olarak yer almaktadır (Şekil 1). İlinin yüzölçümü 3686 km<sup>2</sup>’dir (Anonim, 2021). Çalışma, Karaman il merkezine yaklaşık 45 km uzaklıktaki Taşkale köyünde bulunan 20 dekarlık sulanabilen bir tarlada, 2500’er metrekairelik test alanlarında 2020 yılında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1. Denemelerin yapıldığı alanın coğrafi konumu (Anonim, 2021)

Bu çalışmada üç tekerrürlü tesadüfi blok deseni kullanılmıştır. Girdi ve çıktı enerjileri bulunurken, her bir bileşenin enerji eşdeğerleri katsayılarının, bir dönem mısır üretiminde kullanılan miktarları ile çarpılarak hesaplanmıştır. Hesaplamalarda kullanılan enerji eşdeğer katsayıları yapılan önceki araştırmalardan alınmıştır. Mısırın girdi ve çıktı değerleri hesaplanarak, Tablo 2’de verilmiştir. Koçtürk ve Engindeniz (2009), Singh ve ark. (2003) ve Mandal ve ark. (2002), girdi enerjilerini doğrudan-dolaylı ve yenilenebilir-yenilenemeyen enerjiler olarak sınıflandırmışlardır. Yapılan çalışmada mısır tarımında enerji hesaplamaları Tablo 3’te, girdi enerji türleri ise Tablo 4’te verilmiştir.

Her parselin toplam yakıt tüketimi 1 ha<sup>-1</sup> olarak hesaplanmıştır. Yakıt tüketimini ölçmek için tam dolu depo yöntemi kullanılmıştır (Göktürk, 1999; El Saleh, 2000; Sonmete, 2006). Her parselin (ha h<sup>-1</sup>) iş gücü verimi, deneme alanında hesaplanan toplam sürenin alana bölünmesiyle hesaplanmıştır. Parseldeki deneylerde etkin çalışma süresi (tef) kullanılarak ölçülmüştür (Özcan, 1986; Güzel, 1986; Sonmete, 2006). Üretimin her aşamasında çalışma süreleri kronometre yardımıyla ölçülmüştür. Mısır tarımında kullanılan girdi-çıktı enerji değerleri Tablo 1’de verilmiştir. Enerji oranı, özgül enerji, enerji üretkenliği ve net enerji ise, aşağıda verilen formüller yardımıyla hesaplanmıştır (Mandal ve ark., 2002; Mohammadi ve ark., 2010; Baran ve Gökdoğan, 2020).

$$\text{Enerji oranı} = \text{Enerji çıktısı (MJ ha}^{-1}\text{)} / \text{Enerji girdisi (MJ ha}^{-1}\text{)} \quad (1)$$

$$\text{Özgül enerji (MJ kg}^{-1}\text{)} = \text{Toplam enerji girdisi (MJ ha}^{-1}\text{)} / \text{Hasat edilen toplam ürün miktarı (kg ha}^{-1}\text{)} \quad (2)$$

$$\text{Enerji üretkenliği (kg MJ}^{-1}\text{)} = \text{Hasat edilen toplam ürün miktarı (kg ha}^{-1}\text{)} / \text{Toplam enerji girdisi (MJ ha}^{-1}\text{)} \quad (3)$$

$$\text{Net enerji (MJ ha}^{-1}\text{)} = \text{Enerji çıktısı (MJ ha}^{-1}\text{)} - \text{Enerji girdisi (MJ ha}^{-1}\text{)} \quad (4)$$

Tablo 1. Mısır üretiminde girdi ve çıktılarının enerji eşdeğerleri

Giriş	Birim	Enerji eşdeğeri (MJ ünitesi <sup>-1</sup> )	Kaynaklar
İnsan iş gücü	h	1.96	Mani ve ark., 2007; Karaağaç ve ark., 2011
Makine	h	64.80	Singh, 2002; Kızılaslan, 2009
Kimyasal gübreler			
Üre	kg	36.61	Tozan ve ark., 2001
DAP	kg	11.96	Tozan ve ark., 2001
Dizel yakıt	l	56.31	Singh, 2002; Demircan ve ark., 2006
Tohum	kg	14.58	Pimentel, 1980
Sulama suyu	m <sup>3</sup>	0.63	Barut ve ark., 2011
<b>Çıktı</b>			
Verim (Dane Mısır)	kg	104	Barut ve ark., 2011; Öztürk, 2011

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Mısır tarımı yapılan işletmede 2020 yılında birim alandan ortalama 15000 kg ha<sup>-1</sup> mısır alınmıştır. Yapılan mısır üretiminde hesaplanan enerji bilançosu değerleri Tablo 2'de verilmiştir. Tablo 2'ye göre, mısır üretimindeki enerji girdileri toplamı 18029.78 MJ ha<sup>-1</sup>, enerji çıktısı toplamı ise, 218700 MJ ha<sup>-1</sup> olarak hesaplanmıştır. Enerji girdileri; insan iş gücü 235.20 MJ ha<sup>-1</sup> (%1.30), makine enerjisi 1575.29 MJ ha<sup>-1</sup> (%8.74), kimyasal gübrelerin toplam enerjisi 10910 MJ ha<sup>-1</sup> (%60.51), dizel yakıtın enerjisi 3348.19 MJ ha<sup>-1</sup> (%18.57), tohumun enerjisi 291.60 MJ ha<sup>-1</sup> (%1.62) ve sulama suyunun enerjisi 1669.5 MJ ha<sup>-1</sup> (%9.26) olarak hesaplanmıştır. Enerji girdileri içerisinde kimyasal gübrelerin enerjisinin %60.51 ile en yüksek paya sahip olduğu görülmüştür. Daha önce yapılan çalışmalarda da araştırmacılar, mısır yada farklı bazı ürünlerde kimyasal gübrelerin enerji girdilerini yüksek oranlarda bulmuşlardır. Mısır tarımında Baran ve ark. (2017) %57.06, Baran ve Gökdoğan (2020) %52.55 ile kimyasal enerji girdisinin, toplam enerji girdileri içerisindeki payının en yüksek değerde olduğunu bildirmişlerdir. Mohammadi ve Omid (2010) salatalık tarımında %40.17, Abbas (2011), kanola tarımında %36.30, Karaağaç ve ark. (2011) buğday tarımında

%58.21 ile toplam enerji girdileri içerisinde kimyasal gübrelerin enerjilerinin en büyük paya sahip olduğunu bildirmektedirler.

Mısır üretiminde enerji oranı, özgül enerji, enerji üretkenliği ve net enerji üretimi sırasıyla 12.13, 1.20 MJ kg<sup>-1</sup>, 0.83 kg MJ<sup>-1</sup> ve 200670.23 MJ ha<sup>-1</sup> olarak bulunmuştur (Tablo 3). Daha önceki yapılan araştırmalarda enerji üretkenliği; Sağlam ve Çetin (2018) 1.005 (kabak çekirdeği), Mandal ve ark. (2002) 1.10 (soya fasulyesi), 1.98 (hardal), Mohammadi ve ark. (2008) 1.25 (patates) olarak hesaplamışlardır.

Mısır üretiminde tüketilen toplam girdi enerjilerinin; %29.13'ü doğrudan, %70.87'si dolaylı, %12.18'i yenilenebilir ve %87.82'si ise yenilenemeyen enerjiler olarak sınıflandırılmıştır (Tablo 4). Yapılan diğer çalışmalarda da; Azarpour ve ark. (2013) yenilenebilir enerji oranını %5,68 (kabak çekirdeği), Mohammadi ve ark. (2008) %25,73 (patates), Mohammadi ve Omid (2010) %6,85 (salatalık), Abbas (2011) %1,20 (kanola), Loghmanpour-zarini ve Abedi-firouzjaee (2013)'de %16,55 (tütün) olarak hesaplamışlardır. Görüleceği gibi Abbas (2011) haricinde diğer araştırmacılar yenilenebilir enerji oranını daha yüksek bulmuşlardır. Çalışmada yenilenemeyen enerji oranı ise %97.08 ile oldukça yüksek bir oranda bulunmuştur.

Tablo 2. Mısır üretiminde enerji bilançosu

Giriş	Birim (br)	Enerji eşdeğeri (MJ br <sup>-1</sup> )	Hektara başına düşen girdi (birim ha <sup>-1</sup> )	Enerji değeri (MJ ha <sup>-1</sup> )	Oran (%)
İnsan iş gücü	h	1.96	120	235.20	1.30
Makine	h	64.80	24,31	1575.29	8.74
Kimyasal gübreler				10910.00	60.51
-DAP	kg	36.61	200	7322.00	40.61
-Üre	kg	11.96	300	3588.00	19.90
Dizel yakıt	l	56.31	59.46	3348.19	18.57
Tohum	kg	14.58	20	291.60	1.62
Sulama suyu	m <sup>3</sup>	0.63	2650	1669.5	9.26
Toplam				18029.78	100.00
Çıktı	Birim (br)	Enerji eşdeğeri (MJ birim <sup>-1</sup> )	Verim (birim ha <sup>-1</sup> )	Enerji değeri (MJ ha <sup>-1</sup> )	Oran (%)
Verim (Dane Mısır)	kg	14.58	15000	218700	100.00
Toplam				218700	100.00

Tablo 3. Mısır üretiminde enerji hesaplamaları

Hesaplama	Birim	Değer
Enerji oranı		12.13
Özgül enerji	MJ kg <sup>-1</sup>	1.20
Enerji üretkenliği	kg MJ <sup>-1</sup>	0.83
Net enerji üretimi	MJ ha <sup>-1</sup>	200670.23

Tablo 4. Mısır için enerji girdisi türleri

Enerji türü	Enerji girişi (MJ ha <sup>-1</sup> )	Oran (%)
Doğrudan enerji <sup>a</sup>	5252.89	29.13
Dolaylı enerji <sup>b</sup>	12776.89	70.87
Toplam	18029.78	100.00
Yenilenebilir enerji <sup>c</sup>	2196.30	12.18
Yenilenemeyen enerji <sup>d</sup>	15833.48	87.82
Toplam	18029.78	100.00

<sup>a</sup> İnsan emeği su ve dizel yakıt içerir

<sup>b</sup> Tohum, kimyasal gübreler ve makineler içerir

<sup>c</sup> İnsan emeği, su ve tohum içerir

<sup>d</sup> Dizel yakıt, kimyasal gübreler ve makineler içerir

## 4. Sonuç

Çalışma şu özetlenmiş sonuçlarla açıklanmıştır:

Mısır tarımında toplam enerji tüketimi 18029.78 MJ ha<sup>-1</sup> olarak bulunmuştur. Bunun içerisinde en yüksek payı kimyasal gübrelemeler (%60.51) alırken, bunu sırasıyla dizel yakıtın enerji girdisi (%18.57) ve sulama suyunun enerji girdisi (%9.26) izlemiştir.

Enerji oranı, özgül enerji, enerji üretkenliği ve net enerji üretimi değerleri ise sırasıyla 12.13, 1.20 MJ kg<sup>-1</sup>, 0.83 kg MJ<sup>-1</sup> ve 200670.23 MJ ha<sup>-1</sup> olarak hesaplanmıştır.

Yenilenebilir ve yenilenemeyen enerji girdileri toplam enerji girdisinin oranları ise, %12.18 ve %87.82 olarak gerçekleşmiştir. Hesaplanan verilere bakılacak olursa enerji verimliliğinin artırılması için tarımsal üretimde kimyasalların kullanımının olabildiğince azaltılması, üretimde kimyasal gübreler yerine çiftlik gübresinin kullanımının teşvik edilmesi gerekir.

Bu çalışmada Karaman ilinde mısır üretiminin enerji verimliliği belirlenmiştir. Değerlendirme sonuçlarına göre, çalışma alanında mısır tarımının enerji oranı (çıktı/girdi) 12.13 olarak hesaplanmış olup, enerji kullanımı açısından ekonomik bir üretim olduğu söylenebilir.

## Kaynakça

- Abbas, D. (2011). Energy use efficiency and economic analysis of canola production in three different areas in Iran. *Journal of Agricultural and Biological Science*, 6(11), 54-61.
- Alam, M. S., Alam, M. R., Islam, K. K. (2005). Energy flow in Agriculture: Bangladesh. *American Journal of Environmental Sciences*. 1(3), 213-220.
- Anonim, 2021. Karaman Valiliği. <http://www.karaman.gov.tr/ilin-cografi-bilgileri> Erişim tarihi: 08.06.2021.
- Azarpour, E., Mehr, A. S., Moraditochae, M., Reza, H. (2013). Evaluation greenhouse gases and energy of pumpkin production in north of Iran. *International Journal of Biosciences*, 3(8), 182-190.

- Azizi, A., Heidari, S. (2013). A comparative study on energy balance and economical indices in irrigated and dry land barley production systems. *International Journal of Environment Science and Technology*, 10(5), 1019-1028.
- Baran, M. F., Gökdoğan, O., Bağdatlı, C., Bellitürk, K. (2015). Energy balance of rice production in Turkey: A case study for Kırklareli province, *Econicon Open Access Agriculture*, 1(4), 167-173.
- Baran, M. F., Lüle, F., Gökdoğan, O. (2017). Energy input-output analysis of organic grape production: A case study from Adiyaman province. *Erwerbs-Obstbau*, 59, 275-279.
- Baran M.F, Karaağaç, H. A, Bolat, A, Çil A., Çil, A.N. (2018). Yerfistiği üretiminde enerji kullanım etkinliğinin belirlenmesi (Adana ili örneği). *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (15), 103-111.
- Baran, M. F., & Gökdoğan, O. (2020). Determination of Energy Balance in Pumpkin Seed (Cucurbita pepo L.) Production. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (19), 43-47.
- Barut, Z.B., Ertekin, C., Karaağaç, H.A. (2011). Tillage Effects on Energy Use for Corn Silage in Mediterranean Coastal of Turkey. *Energy*, 36, 9, 5466-5475.
- Bilgili, M. E. (2012). Limon üretiminde enerji kullanım etkinliğinin belirlenmesi; Adana İli Örneği. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*. Cilt 8, Sayı 2. s199-203.
- Demircan, V., Ekinci, K., Keener, H.M., Akbolat, D., Ekinci, Ç. (2006). Energy and economic analysis of sweet cherry production in Turkey: A case study from Isparta province. *Energy Conversion and Management*, 47, 1761-1769.
- El Saleh, Y. (2000). Suriye ve Türkiye'de mercimek ve nohut hasadında mekanizasyon olanaklarının belirlenmesi üzerine bir araştırma. Doktora Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (Yayımlanmamış), Adana.
- Göktürk, B. (1999). Kuru soğanın hasada yönelik bazı özelliklerinin saptanması, kazıcı bıçaklı tip hasat makinesinin geliştirilmesi ve diğer hasat yöntemleri ile karşılaştırılması üzerine bir araştırma. Doktora Tezi, *Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (Yayımlanmamış), Tekirdağ.
- Güzel, E. (1986). Çukurova Bölgesinde yerfistiğinin sökülme ve harmanlanmasının mekanizasyonu ve bitkinin mekanizasyona yönelik özelliklerinin saptanması üzerine bir

- araştırma. *Türkiye Zirai Donatım Kurumu Mesleki Yayınları, Yayın No: 47*, Ankara.
- İbrahim, H.Y. (2011). Kuzey Orta Nijerya'da susam üretimi için enerji girdileri ve mahsul verimi ilişkisi. *Tarım Teknolojisi Dergisi*, 7(4), 907-914.
- Karaağaç, M. A., Aykanat, S., Çakır, B., Eren, Ö., Turgut, M.M., Barut, Z.B., Öztürk, H. H. (2011). Energy balance of wheat and maize crops production in Hacıali Undertaking. 11th International Congress on Mechanization and Energy in Agriculture Congress, 388-391.
- Karaağaç, H. A., Aykanat, S., Gültekin, R., & Baran, M. F. (2014). Adana'da Ana Ürün Mısır Üretiminde Enerji Kullanım Etkinliğinin Belirlenmesi. *Namık Kemal Üniversitesi Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi* 11 (3), 75-81.
- Karaağaç, H. A., Baran M. F, Mart, D., Bolat, A., Eren, Ö. (2019). Nohut üretiminde enerji kullanım etkinliği ve sera gazı (GHG) emisyonunun belirlenmesi (Adana ili örneği). *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (16), 41-50.
- Kızılaslan, H. (2009). Input-output energy analysis of cherries production in Tokat Province of Turkey. *Applied Energy*. 86, 1354- 1358.
- Koçtürk, O.M., Engindeniz, S. (2009). Energy and cost analysis of sultana grape growing: a case study of Manisa, west Turkey. *African Journal of Agricultural Research*, 4(10), 938-943.
- Konak, M., Marakoğlu, T., & Özbek, O. (2004). Mısır Üretiminde Enerji Bilançosu. *Selçuk Journal of Agriculture and Food Sciences*, 18(34), 28-30.
- Kosemani, B. S., & Bamgboye, I. A. (2021). Modelling energy use pattern for maize (*Zea mays* L.) production in Nigeria. *Cleaner Engineering and Technology*, 100051.
- Loghmanpour-zarini, R., Abedi-firouzjaee, R. (2013). Energy and water use indexes for Tobacco production under different irrigation systems in Iran. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, pp: 5-12/1332-1339.
- Mandal, K.G., Saha, K.P., Ghosh, P.K., Hati, K.M., Bandyopadhyay, K.K. (2002). Orta Hindistan'da soya bazlı mahsul üretim sistemlerinin biyoenerjisi ve ekonomik analizi. *Biyokütle ve Biyoenerji*, 23, 337-345.
- Mani, I., Kumar, P., Panwar J.S., Kant, K. (2007). Variation in energy consumption in production of wheat-maize with varying altitudes in Hill Regions of Himachal Prades, India. *Energy*, 32, 2336-2339.
- Marakoğlu, T., Özbek, O., & Çarman, K. (2010). Nohut üretiminde farklı toprak işleme sistemlerinin enerji bilançosu. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 6(4), 229-235.
- Mirzaee, E., Omid, M., Asakereh, A., Safaieenejad, M. and Dalvand M. J. (2011). *Uluslararası Tarımda Mekanizasyon ve Enerji Kongresi*, 21-23 Eylül, İstanbul, Türkiye, 383-387.
- Mohammadi, A., Tabatabaeefer, A., Shahin, S., Rafiee, S., Keyhani, A. (2008). Energy use and economical analysis of potato production in Iran a case study: Ardabil Province. *Energy Conversion Management*, 49, 3566-3570.
- Mohammadi, A., Omid, M. (2010). Economical analysis and relation between energy inputs and yield of greenhouse cucumber production in Iran. *Applied Energy*, 87, 191-196.
- Mohammadi, A., Rafiee, S., Mohtasebi, S. S., Rafiee, H. (2010). Energy inputs-yield relationship and cost analysis of kiwifruit production in Iran. *Renewable Energy*, 35, 1071-1075.
- Mousavi-Avval, S., H., Rafiee, S., Jafari, A., Mohammadi, A. (2011). Energy flow modeling and sensitivity analysis of inputs for canola production in Iran. *Journal of Cleaner Production*, 19(2011), 1464-1470.
- Özcan, M. T. (1986). Mercimek hasat ve harman yöntemlerinin iş verimi, kalitesi, enerji tüketimi ve maliyet yönünden karşılaştırılması ve uygun bir hasat makinası geliştirilmesi üzerine araştırmalar. *Türkiye Zirai Donatım Kurumu Yayınları, Yayın No: 46*, Ankara.
- Öztürk, H.H., (2011). Bitkisel Üretimde Enerji Yönetimi, *Hasad Yayıncılık*
- Pimentel, D. (1980). Handbook of energy utilization in agriculture. CRC Press, Boca Raton.
- Robinson, R. W., Decker-Walters, D. S. (1997). "What are Cucurbits". In Cucurbits, R. W. Robinson & D. S. Decker-Walters, CAB International, New York. pp: 1-22.
- Sağlam, C., Çetin, B. (2018). A research on determination of energy efficiency in pumpkin seed production. IV. International Vocational and Technical Sciences Congress, 2070-2076.
- Saltuk, B. (2019a). Energy efficiency of greenhouse tomato production in Turkey: A case of Siirt province. *Fresenius Environmental Bulletin*, 28(8), 6352-6357.
- Saltuk, B. (2019b). Determination of energy efficiency in after groundnut production (Osmaniye Case). *Fresenius Environmental Bulletin*, 28(4A), 3476-3482.
- Singh, J.M. (2002). On farm energy use pattern in different cropping systems in Haryana, India. International Institute of Management University of Flensburg, Sustainable Energy System and Management. Master of Science. Germany.
- Singh, H., Mishra, D., Nahar, N.M., Ranjan, M. (2003). Energy use pattern in production agriculture of a typical village in Arid Zone India (Part II). *Energy Conversion and Management*, 44, 1053-1067.
- Sonmete, M. H. (2006). Fasulyenin hasat-harman mekanizasyonu ve geliştirme olanakları. Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (Yayımlanmamış), Konya.
- Sönmez, K., Alan, Ö., Kınacı, E., Kınacı, G., Kutlu, İ., Budak Başçiftçi, Z., Evrenosoğlu, Y. (2013). Bazı Şeker Mısır Çeşitlerinin (*Zea mays saccharata* Sturt) Bitki, Koçan ve Verim Özellikleri. *Ziraat Fakültesi Dergisi*, 8 (1), 28-40.
- Tozan, M., Ergüneş, G., Özgün, E. (2001). Gökhöyük Tarım İşletmesinde Bitkisel Üretimde Tarımsal Mekanizasyon Özelliklerinin ve Enerji Bilançosunun Belirlenmesi. Tarımsal Mekanizasyon 20. Ulusal Kongresi 13-15 Eylül, Şanlıurfa.
- TÜİK, 2021. Türkiye İstatistik Kurumu. <http://www.tuik.gov.tr> Erişim Tarihi: 13.04.2021.
- Uhlen, H. (1998). Why energy productivity is increasing: an I-O analysis of Swedish agriculture. *Agricultural Systems*, 56(4), 443- 465.
- Yadav, S. N., Chandra, R., Khura, T. K., Chaukan, N. S. (2013). Energy input-output analysis and mechanization status for cultivation of rice and maize crops in Sikkim. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 15(3), 108-116.
- Yılmaz, H., Aydın, B. (2020). Comparative input-output energy analysis of citrus production in Turkey: Case of Adana province. *Erwerbs-Obstbau*, 62, 29-36.





# Nanoyapılı İletken Dolgulu Polimer ile Geniş Bant Çok Katmanlı Radar Soğurucu Malzemelerin Geliştirilmesi

Hasan Kasım<sup>1\*</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)

(İlk Geliş Tarihi 10 Ağustos 2021 ve Kabul Tarihi 29 Eylül 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.993729)

**ATIF/REFERENCE:** Kasım, H. (2021). Nanoyapılı İletken Dolgulu Polimer ile Geniş Bant Çok Katmanlı Radar Soğurucu Malzemelerin Geliştirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (27), 588-597.

## Öz

Bu çalışma, nano boyutlu iletken dolgu malzemeleri kullanılarak hazırlanan Elastomer Esaslı Radar Soğurucu Malzemelerin (H-RGC), 0-360° arasında 3°'lik adımlar ile 6-17 GHz frekans bant aralığındaki Radar Kesit Alanı (RSA) azaltma verimliliği ve performansını karakterize etmek için karşılaştırmalı deneysel metodoloji sunmaktadır. Karşılaştırma kapsamında kullanılan referans malzeme (M-REM) askeri kara araçlarının (tank, kamyon, gemi vb.) radar kesit alanını azaltmak için tasarlanmış olup hali hazırda ticari olarak satılmaktadır. Çalışma kapsamında mükemmel geniş bant özellikleri sergileyen, her iki yönde yansıtıcı yüzey içeren 6 katmanlı, simetrik ve ince radar soğurucu malzeme tasarlanmış ve üretilmiştir. Karbon siyahı ve grafen nanoplatetler, sırasıyla yansıtıcı yüzey ve hibrit katmanı oluşturmak için gerekli kauçuk kompozit üretmek için kullanılmıştır. Her iki malzeme için yapılan ölçümlerde benzer sonuçlar elde edilmiş olup üretilen malzemenin gemi, askeri kara araçları gibi sistemlerde RSA azaltımında kullanılabileceğini görülmüştür. Sonuçlar, her iki malzeme tipinin de 20 dBsm değerinde bir azaltım sağlayabildiğini göstermiştir. M-REM için frekansa bağımsız olarak en iyi RSA değerleri 24-72° arasında elde edilmişken, H-RGC için 21-72° aralığındadır. Her iki malzeme için frekans bant genişliği arttıkça RSA değerlerinin de iyileştiği görülmüştür. M-REM için 12 GHz frekans da yapılan testlerde en düşük soğurma değeri 72° de, 42,6743 dBsm, H-RGC için ise 42,9219 dBsm olarak ölçülmüştür. Ticari olarak kullanılan ve geçerliliğini kanıtlamış M-REM'e alternatif olarak üretilen H-RGC malzemelerinin ölçüm sonuçları arasındaki benzerlik ve eşleşme, tasarımımızın geçerliliğini göstermiş ve ileri de yapılacak çalışmalar için umut verici sonuçlar elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Radar Soğurma Malzemesi, Radar Kesit Alanı Azaltımı, Elastomer, İletkenlik Özellikleri,

## Development of Broadband Multilayer Radar Absorber Materials With Nanostructured Conductive Filled Polymer

### Abstract

In this study, elastomer-based radar absorber materials (H-RGCs) prepared using nano-sized conductive fillers present a comparative experimental methodology to characterize the cross-sectional radar field (RSA) reduction efficiency and performance in the 6-17 GHz band with 3° steps from 0 to 360°. The reference material (M-REM) used in the comparison is designed to reduce the radar cross-section area of military land vehicles (tank, truck, ship, etc.) and is currently commercially available. Within the scope of the study, a 6-layer, symmetrical and thin radar absorber material with reflective surfaces in both directions, exhibiting excellent broadband properties, was designed and manufactured. Carbon black and graphene nanoplatelets were used to produce the required rubber composite to form the reflective surface and hybrid layer. Similar results were obtained in the measurements made for both materials, and it was seen that the produced material could be used in systems such as ships and military land vehicles for RSA reduction. The results showed that both material types could achieve a reduction of 20 dBsm. The best RSA values, regardless of frequency, are obtained between 24-72° for M-REM, while for H-RGC, it is in the range of 21-72°. It was observed that the RSA values improved as the frequency bandwidth increased for both materials. In the tests performed at 12 GHz frequency for M-REM, the lowest absorption value was measured at 72°, 42.6743 dBsm, and the lowest absorption value for H-RGC was 42.9219 dBsm. The similarity and match between the measurement results of the H-RGC materials produced as an alternative to the commercially used and proven M-REM showed the validity of our design and gave promising results for future studies.

**Keywords:** Radar Absorbing Material, Radar Cross Section Reduction, Elastomer, Conductivity Properties, Composites.

\* Sorumlu Yazar: [hasankasim@emsaglobal.com](mailto:hasankasim@emsaglobal.com)

## 1. Giriş

Radar Soğurucu Malzemeler (RAM), günümüzde, optimizasyon ve radar algılama gibi askeri uygulamalardan modern yaşamın tüm alanlarına kadar bir çok yerde elektroteknik, elektronik ve radyo-elektronik sistemlerin elektromanyetik uyumluluğunun sağlanması noktasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu malzemeler elektromanyetik dalgaları etkili bir şekilde emerek oluşan elektromanyetik enerjiyi ısıya dönüştüren yada elektromanyetik dalgaları bir parazit tarafından yok edebilen fonksiyonel kompozit yapılarıdır. Bu yapıyı oluşturan malzemelerin düşük yoğunluklu, dış zorlanmalara karşı dayanıklı ve uzun hizmet ömrüne sahip olması istenmektedir. Radar soğurucu yapıların tasarımlarında tek katmanlı veya tek tip soğurucu malzemeler (Li ve ark., 2010) yerine, mümkün olan en düşük kalınlığa sahip, çok katmanlı yapılardan (Park ve ark., 2006; Ren ve ark., 2012) oluşan, en geniş çalışma bant genişliği ile mümkün olan en düşük yansıma özelliklerine sahip kompozit soğurucu (Liu ve ark., 2008; Xu ve ark., 2016) yapıların tasarlanması son zamanlarda bir çok çalışmada ilgi odağı haline gelmiştir. Bu sayede askeri amaçlı bir çok uygulama kapsamında Radar Kesit Alanı (RSA) azaltma çalışması yapılmaktadır. RSA bir cisim üzerine gelen elektromanyetik dalgaları yansıma miktarının ölçüsü olarak tanımlanmaktadır (Knott ve ark., 2004).

Bir radar sinyali ile uyarılan cisim yüzeyinde oluşan akım, elektromanyetik dalgaları farklı yönler saçarak yansıyan dalgaları oluşturur. Bu dalgalardan radar yönüne dönen yankı dalgaları en önemlisidir (Badawy ve ark., 2020; Zhang ve ark., 2017). Yansıma yapan dalgalar ve RSA, akım yönü ve şiddetine, cismin geometrik şekline, malzeme özelliklerine, açı, frekans ve polarizasyona bağlıdır. Radar tespit ve görüntüleme sistemleri açısından RSA'nın düşük olması cismin daha zor tespit edilmesini ve izlenmesini sağlar.

Büyük elektromanyetik dalga soğurma performansına sahip kompozit malzemeler geliştirmek için birçok araştırma yapılmıştır. Bu çalışmalarda daha ince bir malzeme kalınlığı ve bant genişliğine sahip ultra ince radar soğurucu malzeme tasarlamak için alt tabaka olarak manyetik özelliklere sahip malzemeler kullanılmıştır (Kazantsev ve ark., 2010). Manyetik olmayan direnç yüklü çift kare halka döngülü metal malzemeleri, iki boyutlu ve periyodik olarak kompozit malzemelere gömerek ince ve geniş bantlı radar soğurucu malzemeler hazırlanmıştır (Shang ve ark., 2013). EPDM ile polianilin iletken polimeri karıştırılarak hazırlanan farklı konsantrasyonlardaki karışımların, 8-12 GHz frekans aralıklarında X-bandı saçılma ölçümleri ve dielektrik sabitleri belirlenerek uçağın radar kesitini azaltmak için havacılık amaçlı uygulamalar yapılmıştır (Franchitto ve ark., 2001). Poliakrilonitril ve poli (etilen tereftalat) alt tabakalarından oluşan dokunmamış malzeme üzerine polianilin ve poliüretan karışımı emdirilerek elde edilen çok katmanlı radar emici kompozit yapıların 8 ile 12 GHz frekans aralığında yapılan deneylerde %87 ile %99 arasında gelen elektromanyetik dalgaların emildiği gösterilmiştir (Folgueras ve ark., 2008). Grafit dolgulu epoksi karışımlar değişik kalınlıklarda hazırlanmış ve geri dönüş kaybı açısından değerlendirilmiştir. Kompozit matris içerisindeki grafit dolgu miktarının artması ile eşleştirme frekansının aşağıya doğru kaydığı, hazırlanan kompozitlerin iyi bir kompleks geçirgenlik, dielektrik tanjant kaybı ile gizli uygulamalarda radar soğurma malzeme tasarımında kullanılabileceği görülmüştür (Pratap ve ark., 2020).

Karbon bazlı malzemeler korozyon dayanımı gerektiren uygulamalarda, ısı yalıtım uygulamalarında, sensor uygulamaları ve daha bir çok alandaki uygulamada ince ve hafif iletken bileşenler olarak yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Özellikle yüksek en-boy oranı ve düşük özgül ağırlığa sahip karbon allotropları araştırmacıların ilgi odağı haline gelmiştir. Nano ve üzerindeki bir boyuta sahip karbon bazlı iletken malzemeler çeşitli termoset/termoplastik ve elastomer matrisleri içerisine dolgu malzemesi olarak eklenip radar emici malzemeler olarak etkin bir şekilde kullanılabileceği araştırılmıştır (Vinoy ve ark., 1996).

Nano yapı polimer kompozitler çok işlevli malzemeler için yeni perspektifler oluşturmuştur. Karbon nanotüp, karbon siyahı, grafen, fullerene gibi iletkenler havacılık uygulamalarına özel kompozitlerin mekanik ve elektriksel performanslarını geliştirmek için potansiyel uygulamalar sunmaktadır. Epoksi matrisi içerisine düşük konsantrasyonlarda karbon nanotüp (CNT) eklenmesi ile gelişmiş elektromanyetik özelliklere sahip yeni bir fonksiyonel malzeme elde edilmiş olup yalnızca %0.5 oranında CNT kullanılarak %99.7'ye kadar mikrodalga emilimi sağlanmıştır (Silva ve ark., 2013). Cam elyaf/epoksi reçine ve grafen nano parçacıkları kullanılarak vakum destekli reçine transfer kalıplama ile üç bileşenli kompozit yapılar üretilmiştir. Grafen nano parçacıklarının düşük konsantrasyonlarda (ağırlıkça %0.1) eklenmesi ile 8.2-12.4 GHz frekans aralığında elektromanyetik dalgaların geri yansımada %99.99'a varan bir zayıflama elde edilmiştir (Kunrath ve ark., 2019).

Son zamanlarda, telekomünikasyon sistemlerinin daha yüksek frekanslarda çalışması nedeniyle elektromanyetik dalga soğuruculara olan talep artmaktadır. Ferromanyetik ve iletken polimerik kompozitler, 2 GHz ila 18 GHz arasındaki frekans bölgesinde radar emici ve elektromanyetik koruyucu malzemeler olarak en az araştırılanlardır.

Bu çalışmanın amacı, dış mekan kullanımına uygun vulkanize nitril kauçuk sırt üzerine özel naylon ve iletken liflerden yapılmış multispektral radar emici malzemesi ile grafen/ karbon siyahı dolgulu hibrit doğal kauçuk karışımına lamine cam elyaf lamine edilerek üretilen katmanlı kompozit yapılar, yatay açılar 0-360° arasında 3°'lik adımlarla, 6-17 GHz frekans değerleri arasında 1 GHz bant genişliğine sahip olacak şekilde, kapalı saha laboratuvar ortamında 26 m mesafeden radar kesit alanı özelliklerini karşılaştırmalı olarak araştırmaktır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Malzeme

Radar kesit alanı azaltma testlerinde kullanılmak üzere dış mekan kullanımına uygun yeşil renkli ve halı yüzeyi desenli M-REM (toplam ağırlığı 2.45±0.07 kg/m<sup>2</sup>, nominal kalınlığı 6.4 mm, Radar yansıma kaybı (metal plaka üzerinde): ortalama 5-94 GHz frekans aralığında 15 dB, Yakın kızıl ötesi yansıma 800-1700 nm arasında >55%) malzemesi Marktek Inc., ABD'den temin edilmiştir. Bu malzemeye alternatif olarak geliştirilen katmanlı kompozit (H-RGC) iletken dolgulu ve elastomer esaslı bir yapıya sahiptir. Matris bileşeni olarak kullanılan kauçuk grupları cis-izopren (SMR 20) ve cis-polibütadien kauçuk (CBR 1203), ana dolgu malzemesi karbon siyahı (FEF N550, ortalama parçacık boyutu 42-50 nm, harici yüzey alanı 39 m<sup>2</sup>/g, sıkıştırılmış numune yağ emme miktarı yaklaşık 85 cm<sup>3</sup>/100g) ve diğer ve katkı maddeleri (çinko oksit, stearik asit, CBS hızlandırıcı, parafinik yağ ve kükürt) USMER Kauçuk Ltd., Türkiye'den tedarik edilmiştir. İletken dolgu malzemesi olarak kullanılan grafen nanoplatetler (GF, %99.9 saflığa, her parçacık

kalınlığı 5 nm, Ortalama çapı 12-18 µm, spesifik yüzey alanı 175 m<sup>2</sup>/g ve elektrik iletkenliği 1100-1600 s/m, renk gri) Nanografi Co., Türkiye'den tedarik edilmiştir. GF'ler düşük yoğunluk, yüksek en boy oranı, nano boyutlar ve ayarlanabilir elektriksel özellikleri sayesinde nanokompozitler için en umut verici nano boyutlu dolgu malzemeleri olarak bilinmektedir. Hazırlanan karışımdaki tüm bileşenler yüz birim kauçuk (phr) kısma denk gelecek şekilde reçeteye dahil edilmiştir. H-RGC karışımına ait formülasyon tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Hazırlanan kauçuk karışımına ait formülasyon

Parametre	Miktar (phr)
SMR 20	50
CNR 1203	50
FEF N 550	45
Grafen (GF)	4
ZnO	2.2
Stearic Acid	2.6
IPPD	1.2
TMQ	1.3
Parafinik Yağ	18.5
S80	2.45
CBS	2.87

H-RGC karışımı Farrel Markalı kapalı bir karıştırıcıda hazırlanmıştır. Kauçuk grubu, dolgu grubu ve diğer kimyasal bileşenler (hızlandırıcılar, plastikleştiriciler, yağ, vb.) (phr olarak), yirmi beş dakika boyunca 115 °C'de dâhili bir kapalı karıştırıcı kullanılarak kauçuk matrisine dâhil edilmiştir. Ardından çapraz bağlayıcı ve hızlandırıcılar eklenerek, homojen bir karışım elde edebilmek için yaklaşık beş dakika boyunca karıştırılmış sonrasında hazırlanan karışım dışarıya alınmıştır. Numune karışım, 23±2 °C sıcaklığında, %50±%5 bağıl nemde (ASTM D412), 18 saat süre boyunca iklimik ortamda bekletilerek dinlendirilmiştir. Karışıma ait vulkanizasyon eğrileri, 8 dakika boyunca 165 °C'de yapılan reometre testleri Montech MDR 3000, Almanya ile gerçekleştirilmiştir. Karışıma ait vulkanizasyon davranışlarını belirleyen minimum tork (M<sub>L</sub>), maksimum tork (M<sub>H</sub>), tork değeri (ΔM), kavurma süresi (T<sub>s2</sub>), uygun kürlenme süresi (T<sub>c90</sub>) gibi parametreler belirlenmiştir.

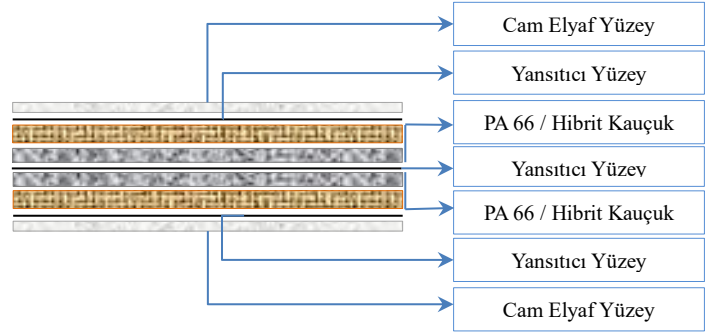
## 2.2. Kompozit Malzemelerin Hazırlanması

M-REM radar soğurucu malzeme hazır olarak satın alınmış olup vulkanize edilmiş nitril kauçuk üzerine özel yansıtıcı nikel kaplamalı elyaf ve cam elyaf ile birlikte polypropilen katmandan oluşmaktadır. Bu malzemeye ait fotoğraf şekil 1'de gösterilmiştir. M-REM toplam kalınlığı 6.2±0.2 mm olarak ölçülmüştür.



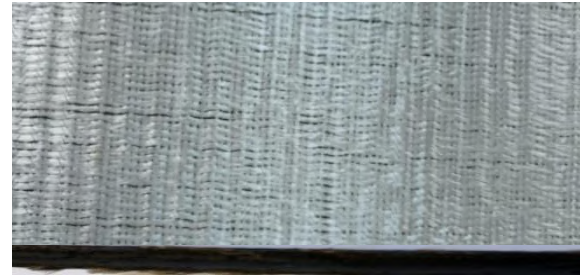
Şekil 1. M-REM radar soğurucu malzemesi

H-RGC radar soğurucu katmanlı kompozit yapı toplam kalınlığı 5.7±0.3 mm olup en dış katman cam elyaf, ardından yansıtıcı elastomer, PA6.6, iletken elastomer ve hibrid dolgulu elastomer karışımından oluşmaktadır. Malzemeler simetrik olarak yerleştirildiği için yön önemli değildir. H-RGC katmanlı kompozit radar soğurucu malzemeler şekil 2 de gösterildiği şekil ve sıralama ile hazırlanmıştır. Hazırlanan kompozit plakalar 200 ton kapasitesindeki hidrolik pişirme presinde, özel bir kalıplama yöntemi ile 22 dakika boyunca 180°C sıcaklıkta vulkanize edilmiştir.



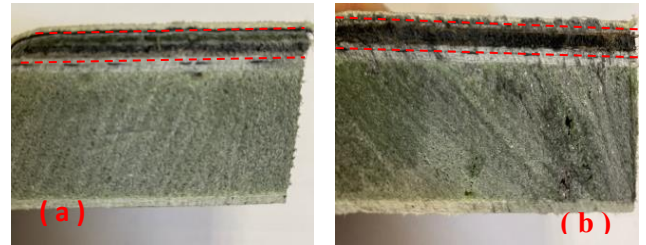
Şekil 2. H-RGC radar soğurucu kompozit malzemesi detay gösterimi

Vulkanize edilen H-RGC plakaları kalıptan çıktıktan sonra etrafındaki çapaklar temizlenerek 23±2 °C sıcaklığında, %50±%5 bağıl nemde (ASTM D412) 24 saat boyunca bekletildikten sonra kullanıma hazır hale getirilmiştir. Hazırlanan bu malzemenin dış yüzeyine ait fotoğraf şekil 3'de gösterilmiştir.



Şekil 3. H-RGC radar soğurucu malzemesi

Radar soğurucu malzemelerin RSA testlerini yapabilmek için her iki malzeme 57x57x3.5 cm ölçülerinde epoksi kaplanarak Şekil 4'de verilen kesit görüntüsü elde edilmiştir.



Şekil 4. Epoksi kaplanmış M-REM (a) ve H-RGC (b) malzemeleri kesit görüntüsü

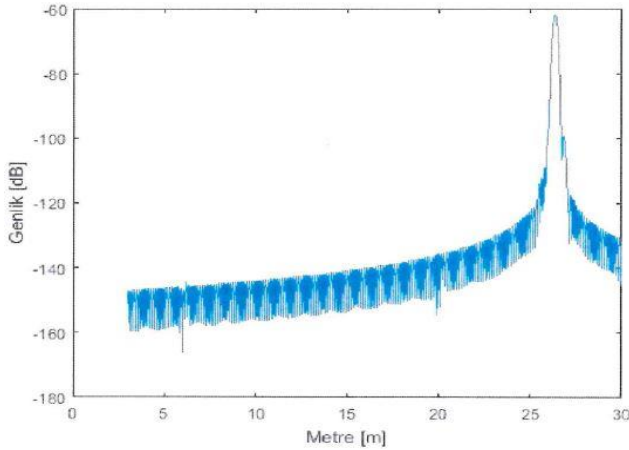
RSA testine tabi tutulacak RAM'ların epoksi kaplandıktan sonra fiziksel uzunluğu 57 cm ve en yüksek ölçüm frekansı 18 GHz olması sebebiyle, bu cismin uzak alan şartı 37.63 m'dir. RSA testleri TÜBİTAK Bilgem bünyesindeki yakın alan radar

kesit alanı ölçüm merkezinde gerçekleştirilmiştir. TÜBİTAK Anten Test ve Araştırma Merkezi (ATAM) bünyesinde geliştirilen tomografi temelli yakın alan/uzak alan dönüşüm algoritması sayesinde, 26 m mesafeden RSA ölçümleri kapalı saha laboratuvar ortamında yapılmıştır.

### 2.3. Uygulanan Ölçüm Yöntemi

RSA ölçümüne başlamadan önce kalibrasyon hedefi olarak standart üçgen reflektör rotatör üzerine yerleştirilmiştir. Bant genişliği 1 GHz olarak belirlendikten sonra menzil profil ölçümü alınmış ve numune dışında gelen yansımaları filtreleyebilmek için kullanılmıştır. Yapılan bu ölçümler sonucunda başlangıç ve bitiş değerlerine göre başlangıç kalibrasyon ölçümü yapılmıştır. Kalibrasyon ölçümleri yapıldıktan sonra yansıtıcı reflektör, rotatör üzerinden indirilerek, yerine RSA ölçümleri yapılacak olan numune bağlantı aparatı ile birlikte montaj edilmiştir. Numune yerleştirildikten sonra istenmeyen ekoların oluşmaması için bağlantı aparatı RF soğurucu özel sünger ile kaplanmıştır. RSA ölçümleri başlatılarak her bir merkez frekans etrafında 1 GHz bant genişliği ile tarama yapılarak ham veriler toplanmıştır. Sonrasında numunenin yerine tekrardan kalibrasyon hedefi olarak standart üçgen reflektör, rotatör üzerine yerleştirilmiş ve bitiş kalibrasyon ölçümleri alınmıştır. Kalibrasyon arasındaki fark 2 dB'den düşük çıkması durumunda ölçümlere devam edilmiştir. Kalibrasyon farkının 2 dB'den fazla olduğu durumlar için ölçümler tekrarlanmıştır.

Alıcı antene gelen sinyaller bünyesinde kargaşa işaretlerini (çevre yansımaları), RF cihazların ısıl gürültülerini ve test cisminin yansıyan sinyalleri beraberce barındırmaktadır. Bu nedenle cisme ait RSA ölçümlerinde yansıyan sinyallerin gücünün belirli bir eşik değerinden yüksek olması gerekmektedir. Şekil 5'te 40 cm dik kenar uzunluğuna sahip standart üçgen reflektörün yaklaşık 26 metreden 18 GHz merkez frekansındaki filtrelenmiş menzil profil grafiği verilmiştir.



Şekil 5. Standart üçgen reflektör için 18 GHz frekansındaki filtrelenmiş menzil profil grafiği

Anten test ve araştırma merkezi kapsamında yapılan RSA testlerinde verici ve alıcı olmak üzere iki adet kullanılmıştır. 1-18GHz bandında çalışabilen bu antenler, 18 GHz'de yatay ve düşeyde en az 25° yarı güç hüzmeye genişliğine sahiptir ve kalibrasyon ihtiyacı bulunmamaktadır. Programlanabilir ölçüm analizörü, Agilent N5224B olup belirli bir frekans ve bant genişliğinde numuneye ait S21 parametresinin ölçülmesi için kullanılmıştır. Test numuneleri rotatör ismi verilen yata ve düşey açılarda hareketi sağlayan, elevasyon üzeri azimut yapısına sahip olup, küresel koordinat sisteminde hareket edebilmektedir.

Ölçüm parametreleri aşağıdaki şekildedir:

Yatay açı:  $AZ=[0,360^\circ]$  aralığında  $3^\circ$  adımlar ile

Düşey açı:  $EL=90^\circ$

Frekans: 6-17 GHz,

Polarizasyon: Dikey-Dikey,

Averajlama: 64,

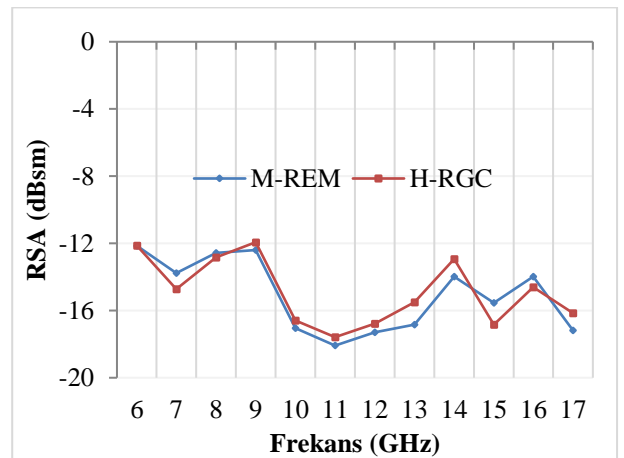
Yumuşatma (Smoothing): %0,

Bant Genişliği: 1 GHz,

Örnekleme Sayısı: 2001

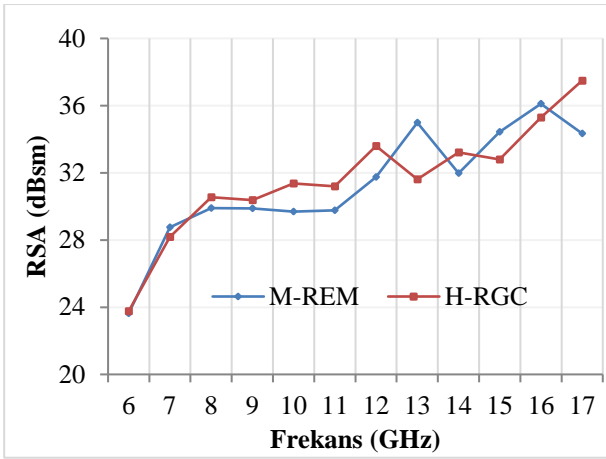
### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Ölçümler numunelerin parlak yüzeyi antenlere yatayda  $0^\circ$  (sıfır) derece açıyla bakacak şekilde alınmıştır.  $180^\circ$  açıdayken numunelerin tam arka yüzeyi antenlere bakmaktadır. Mükemmel iletken bir yüzeye sahip ve numunelerle aynı boyutlarda olan bir kare plaka antenlere tam karşıdan bakarken (yatay açı  $0^\circ$  ve  $180^\circ$ ) en yüksek RSA değerini vermektedir. Antenlere baktığı yatay açı değeri büyümeye başladıkça RSA değeri hızlı bir şekilde düşüş göstermektedir. Şekil 6, M-REM ile H-RGC malzemelerine 0 ila  $360^\circ$  arasında  $3^\circ$ 'er derece aralıklar ile gönderilen elektromanyetik dalganın 6 ila 17 GHz arasında elde edilen radar soğurucu malzemelere ait absorpsiyon eğrilerini göstermektedir. Her iki malzeme için de 11 GHz'de maksimum absorpsiyon ile bir rezonans davranışı sergilemiştir. M-REM ile hazırlanan RAM'da elde edilen ortalama RSA değeri 18.085 dBsm iken H-RGC ile hazırlanan RAM'da bu değer 17.584 dBsm olarak ölçülmüştür. M-REM malzemesine alternatif olarak hazırlanan H-RGC radar soğurma malzemesine 6-17 GHz frekans bant aralığında yapılan RSA test sonuçları incelendiğinde genel olarak bir benzerlik görülmektedir. Her iki malzeme arasındaki fark 13 GHz frekansında 1,3323 dBsm olarak gözlenmiştir. Ölçümlerde kullanılan cihazların kayıpları, kargaşa/gürültü sinyallerinin bozucu etkileri ve ölçüm algoritmasının hataları sebebiyle, ölçülen RSA değerlerinin 2 dB'lik toleransı vardır. Dolayısıyla, test cisminin üretim hassasiyeti mükemmel seviyede olsa bile, ölçüm sisteminin toleransı sebebiyle RSA değerlerinde 2 dB'lik salınımların olması beklenen bir durumdur.



Şekil 6. RAM malzemelerinin frekansa bağlı ortalama RSA değerleri

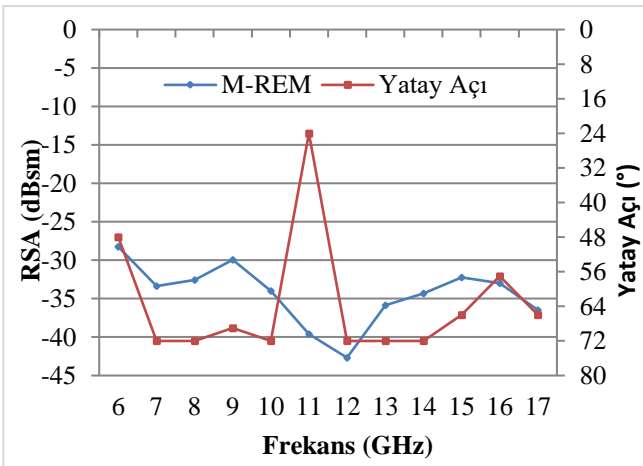
Her iki malzeme içinde en yüksek RSA değerleri 0 derece yatay açılarda elde edilmiştir. Şekil 7’de açı ve frekansa bağlı en yüksek RKA değerlerinin karşılaştırma grafiği gösterilmiştir.



Şekil 7. 0° yatay açıda RAM malzemelerinin frekansa bağlı RSA değerleri

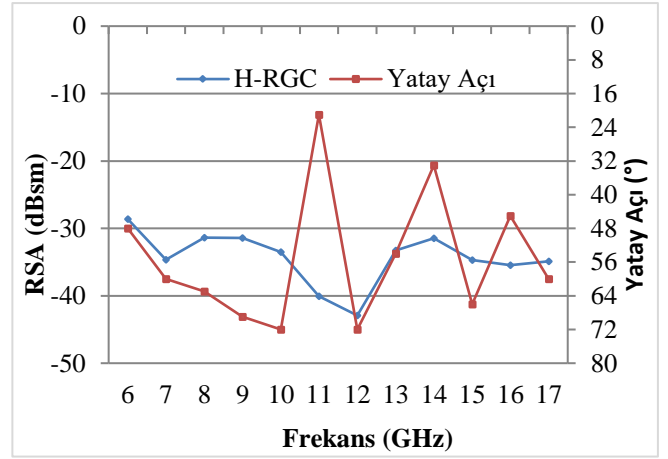
Yatay açı değeri sıfır olduğunda M-REM malzemesi ile hazırlanan kompozitin 16 GHz frekans değerinde 36,108 dBsm RSA değeri ile maksimuma ulaşmıştır. H-RGC malzemesi ile hazırlanan kompozit yapı ise 17 GHz frekans değerinde 37,4919 dBsm RSA değerine ulaşmıştır. Bununla birlikte her iki malzeme için 6 GHz frekans değerinde RSA değerleri M-REM ve H-RGC için sırasıyla 23,6356 ve 23,7605 elde edilmiştir.

6-18 GHz arasındaki frekans değerlerinin her biri için, 0°’den 360°’ye kadar üçer derecelik artımlar ile yapılan RSA testlerinde elde edilen en düşük RSA değerlerine ait grafikler Şekil 8 ve Şekil 9’da gösterilmiştir.



Şekil 8. Açı ve frekansa bağlı M-REM için en düşük RSA değerleri

M-REM radar soğurucu kompozit malzemesi için 6 GHz frekans değerinde ve 48° yatay açıda RSA değeri 28,2471 dBsm olarak ölçülmüştür. Frekans bant genişliği arttıkça RSA özelliğinin de iyileştiği görülmektedir. 12 GHz frekans için yapılan testlerde en düşük soğurma değeri 72° de, 42,6743 dBsm olarak ölçülmüştür.

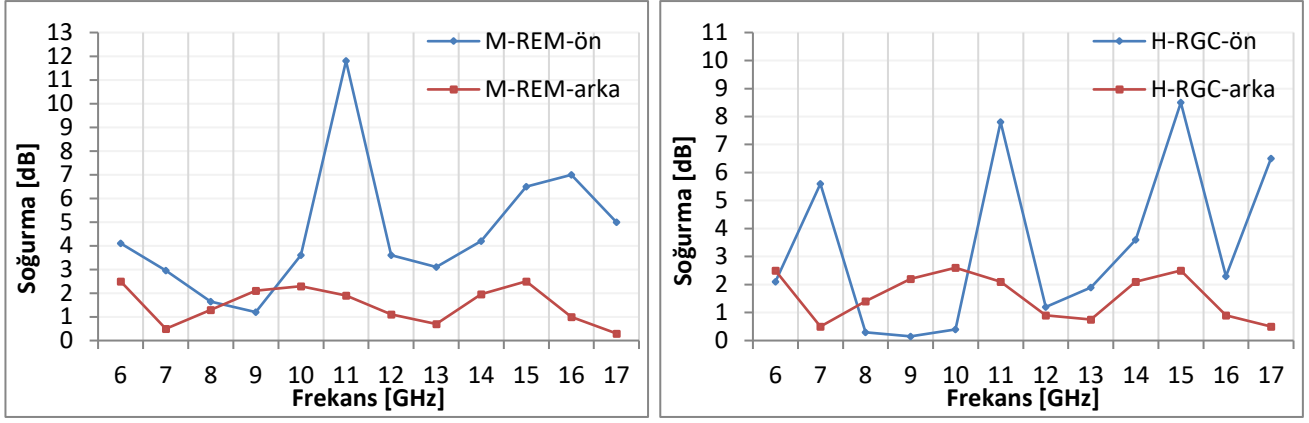


Şekil 9. Açı ve frekansa bağlı H-RGC için en düşük RSA değerleri

H-RGC radar soğurucu kompozit malzemesi için 6 GHz frekans değerinde ve 48° yatay açıda RSA değeri 28,6247 dBsm olarak ölçülmüştür. İki malzeme için, aynı açıda 6 GHz frekans değerinde RSA değerleri oldukça benzerdir. 12 GHz frekans için yapılan testlerde 72° de, H-RGC için en düşük soğurma değeri olarak 42,9219 dBsm ölçülmüştür. Genel olarak her iki malzeme için RSA değerleri benzerlik gösterirken H-RGC malzemesinin daha geniş bir açı aralığında soğurma yapabildiği görülmüştür. M-REM için frekansa bağımsız olarak en iyi RSA değerleri 24-72°’ler arasında elde edilmişken, H-RGC için 21-72° aralığındadır.

Katmanlı bir yapıya sahip olan H-RGC’nin katmanları arasındaki iletken elastomerin içeriğindeki yapı elemanlarının miktarı ve uygulanma şekline bağlı olarak elektromanyetik sinyalleri yansıtır. Yansıyan elektromanyetik dalgaların frekansı, yapı elemanlarının boyutuna ve şekline ve bunların levha yüzeyi üzerindeki dağılımına bağlıdır, yansıma işlemi ise yansıyan dalga frekansı ve yapı elemanı boyutları ile ilgili yasalara uyar (Sasria ve ark., 2017; Avloni ve ark., 2007). Yansıtıcı karbon allotroplarının yeterli düzeyde olmaması durumunda nispeten düşük soğurma verimliliğine sahip bir malzeme olarak değerlendirilmektedir. Pratik kullanımlar için yeterli olarak değerlendirilen gelen radar enerjisinin %10’undan daha azının yansıtılması yatay açıya bağlı olarak 6-17 GHz frekans aralığında bu malzemede sağlanmıştır (Dedov ve ark., 2016).

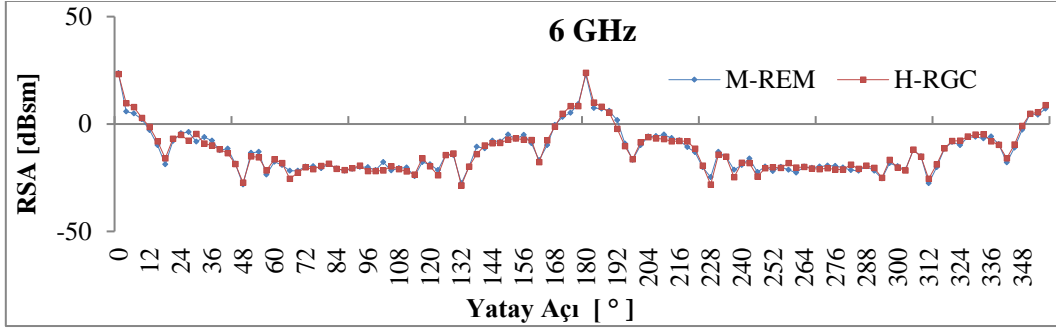
Ölçümler sonucunda numunenin antenlere tam karşıdan baktığı durumdaki RSA değerlerinin, mükemmel iletken yüzeye sahip plakayla yakın değerler verdiğinin görülmesi ile numunelere RSA ölçümünden farklı olarak Açılı Yansıtıcılık testleri yapılmıştır. Açılı Yansıtıcılık Testinde numune alıcı/verici antene 1,5 metre mesafeye yerleştirilmiştir. Ölçümler sırasında numuneler sabit kalırken antenlerin arasındaki açı değiştirilerek ölçümler yapılmıştır. Numune ile aynı boyutlardaki mükemmel iletken yüzeye sahip kare plakanın yansıma değerlerinden numunenin yansıma değerleri çıkartılarak numunelerin soğurganlık değerleri elde edilmiştir. Şekil 10’da M-REM ve H-RGC malzemesi ile üretilen kompozit plakanın ön ve arka yüzeyine ait açılı yansıtıcılık testi soğurganlık grafikleri gösterilmiştir.



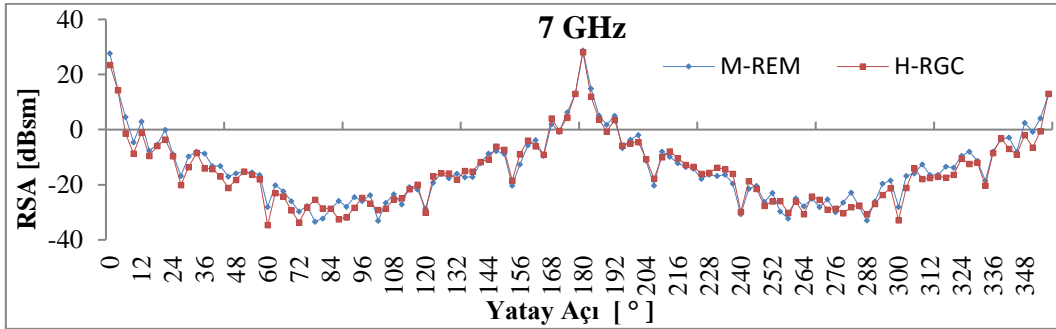
Şekil 10. M-REM ve H-RGC malzemesi açılı yansıtıcılık testi soğurganlık grafiği (antenler arası açı 5°)

Paralel bir polarizasyonda gelen elektromanyetik dalganın geri saçılmasının artan açı değerine bağlı olarak azalması kompozit yapıların içerisinde barındırdıkları iletken dolguların elastomer yapısında oluşturdukları direnç ve kapasitans bileşenleri ile ilgili olduğu görülmüştür (Nalwa, 1997). Paralel polarizasyonda, geliş açısı ile kapasitans bileşeninde bir artış ve buna bağlı olarak

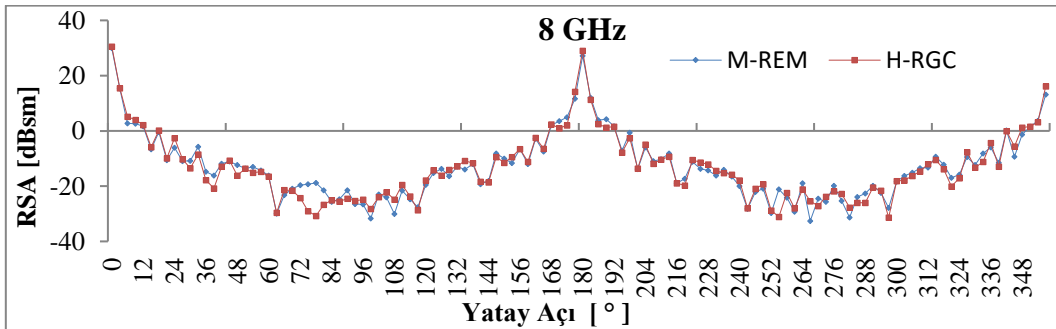
elektromanyetik dalganın geri saçılmasının azalma davranışında bir iyileşme gözlemlenmiştir (Wong ve ark., 1995). Şekil 11 ile Şekil 21 arasında M-REM (6,2 mm) ve H-RGC (5,7 mm) için karşılaştırmalı RSA test sonuçlarını gösterilmiştir. RSA testleri 6 GHz frekansından 18 GHz frekansına kadar yapılmıştır.



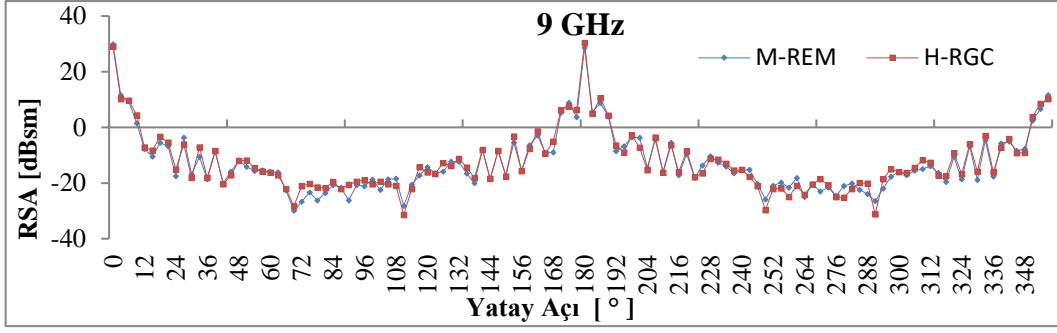
Şekil 10. M-REM ve H-RGC malzemelerinin 6 GHz frekansında yatay açılıya bağlı karşılaştırmalı RSA grafikleri



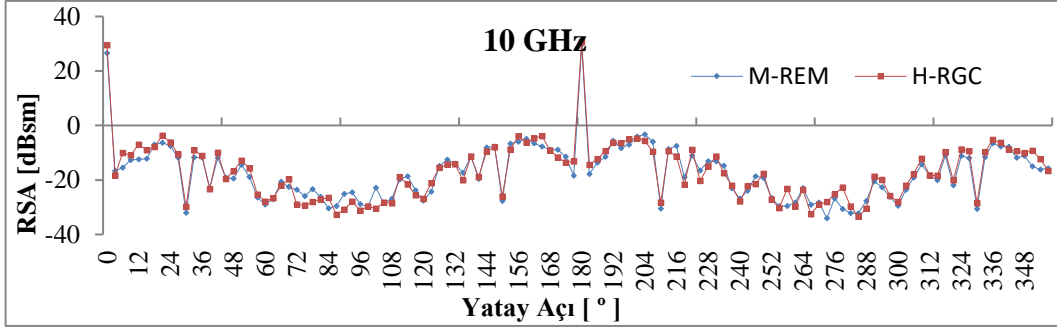
Şekil 11. M-REM ve H-RGC malzemelerinin 7 GHz frekansında yatay açılıya bağlı karşılaştırmalı RSA grafikleri



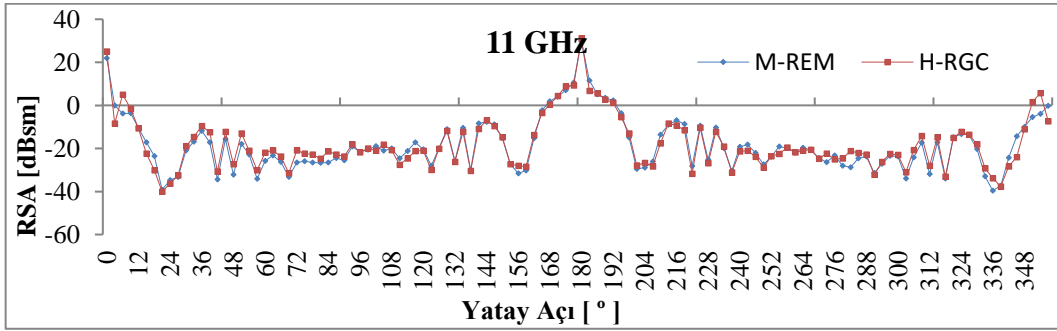
Şekil 12. M-REM ve H-RGC malzemelerinin 8 GHz frekansında yatay açılıya bağlı karşılaştırmalı RSA grafikleri



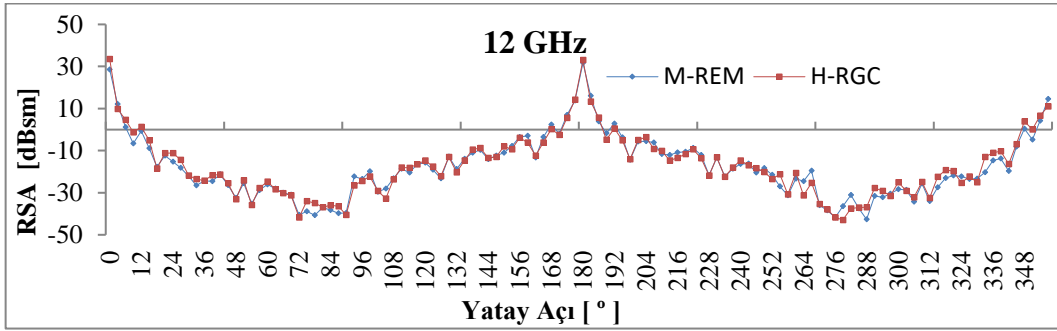
Şekil 13. M-REM ve H-RGC malzemelerinin 9 GHz frekansında yatay açığa bağlı karşılaştırmalı RSA grafikleri



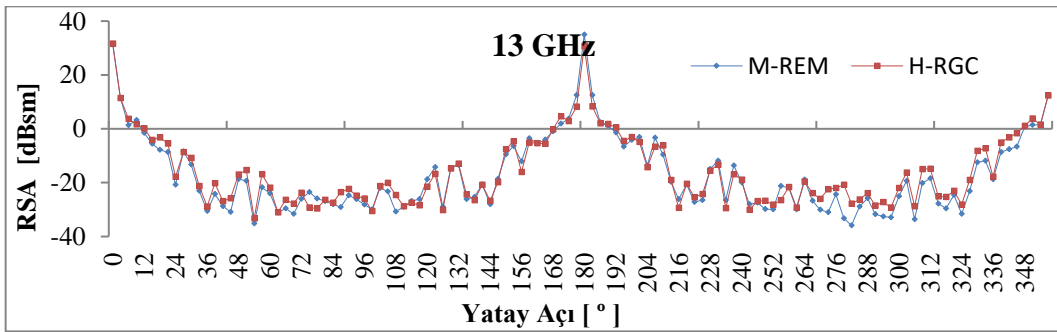
Şekil 14. M-REM ve H-RGC malzemelerinin 10 GHz frekansında yatay açığa bağlı karşılaştırmalı RSA grafikleri



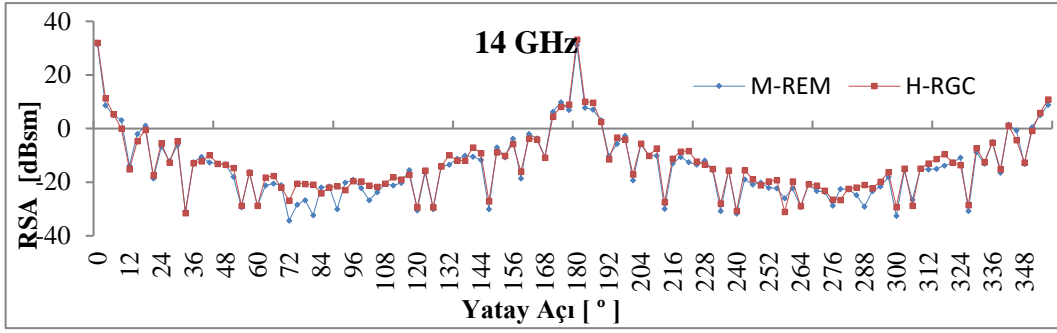
Şekil 15. M-REM ve H-RGC malzemelerinin 11 GHz frekansında yatay açığa bağlı karşılaştırmalı RSA grafikleri



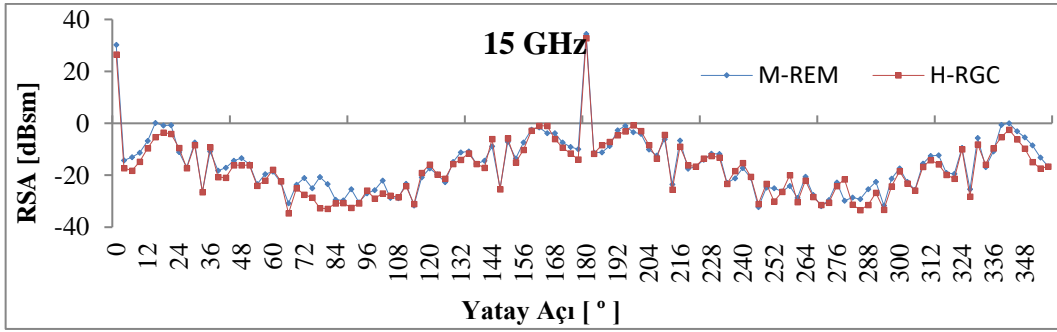
Şekil 16. M-REM ve H-RGC malzemelerinin 12 GHz frekansında yatay açığa bağlı karşılaştırmalı RSA grafikleri



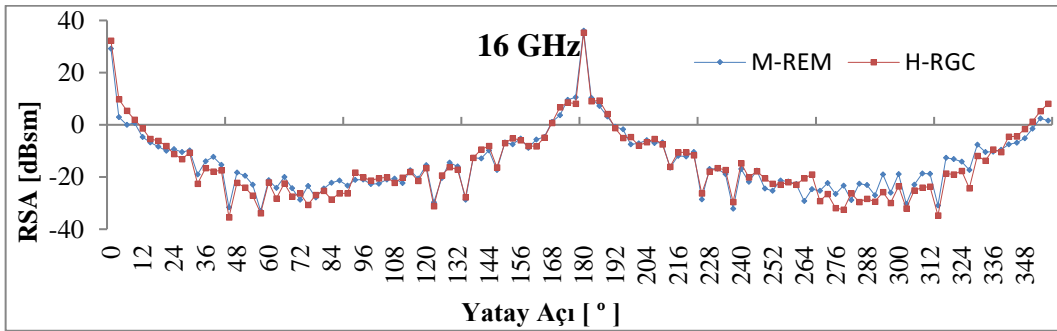
Şekil 17. M-REM ve H-RGC malzemelerinin 13 GHz frekansında yatay açığa bağlı karşılaştırmalı RSA grafikleri



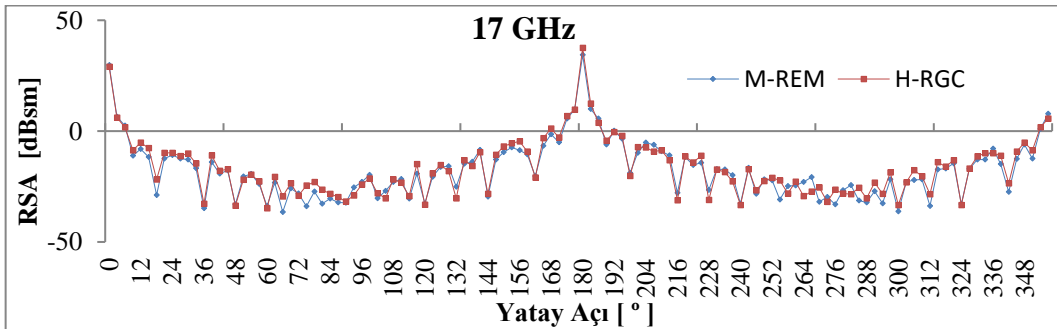
Şekil 18. M-REM ve H-RGC malzemelerinin 14 GHz frekansında yatay açığa bağlı karşılaştırmalı RSA grafikleri



Şekil 19. M-REM ve H-RGC malzemelerinin 15 GHz frekansında yatay açığa bağlı karşılaştırmalı RSA grafikleri



Şekil 20. M-REM ve H-RGC malzemelerinin 16 GHz frekansında yatay açığa bağlı karşılaştırmalı RSA grafikleri



Şekil 21. M-REM ve H-RGC malzemelerinin 17 GHz frekansında yatay açığa bağlı karşılaştırmalı RSA grafikleri

6-18 GHz frekans aralığında yapılan RSA testlerinde 60-120° ve 240-300° aralıklarında 20 dBsm'den daha az değerlerde sönümlenme gerçekleşmiştir. M-REM malzemesinin 9 GHz frekansındaki testinde 60-120° arasında ortalama değer 21,611 dBsm, 240-300° arasında ortalama değer 21,025 dBsm olup H-RGC malzemesi için sırasıyla 20,678 ve 21,455 dBsm olarak ölçülmüştür. 10 GHz frekansında M-REM için belirtilen açı aralıklarında bu değerler 25,444 ve 26,922 dBsm, H-RGC için ise 27,100 ve 26,034 dBsm olarak ölçülmüştür. Her iki malzeme için RSA değerleri birbirine çok yakın olup iki malzeme arasındaki fark 2 dBsm'nin altında ölçüm tolerans aralığında kalmıştır. Frekans bant genişliği artması ile RSA değerleri bir

miktar daha iyileşmiştir. 17 GHz frekans bandında M-REM malzemesinin RSA değeri 60-120° arasında 28,026 dBsm, 240-300° arasında 27,278 dBsm, H-RGC malzemesi için sırasıyla 26,508 ve 26,203 dBsm olarak ölçülmüştür. Değerler 3°'lik artımlardan elde edilen RSA değerlerinin ortalamasıdır. M-REM malzemesi, normal elektromanyetik dalga açısından daha yüksek açılarda iyi bir emilim sunar. Aynı davranış, H-RGC ile formüle edilmiş radar soğurucu malzeme içinde de gözlemlenmiştir.



## 4. Sonuç

Bu çalışmada, radar soğurma malzemesi olarak ticari anlamda kendini kanıtlamış M-REM malzemesi ile iletken dolgular kullanılarak hazırlanmış elastomer esaslı H-RGC malzemesinin 1 GHz bant aralıklarında, 3°'lik aralıklarda 0-360° arasındaki radar kesit alanı ölçümlerinin deneysel olarak karşılaştırılması yapılmıştır.

Her iki RAM için yapılan ölçüm sonuçlarının birbirleri ile uyumlu olduğu gözükmektedir. Aradaki farkın ölçümlerde tam yansımaz oda koşullarının tam olarak sağlanmadığından ve üretim hatalarından kaynaklandığı değerlendirilmektedir. Elde edilen sonuçlar, nanokompozit temelli ışımaya emici yapıların, mevcut haliyle gemi, askeri kara araçları gibi sistemlerde RSA azaltımında kullanılabileceğini göstermektedir.

H-RGC kompozitlerinin radar soğurma verimliliğinin iletken dolgu oranı, dolgu tipi ve karışım hazırlama yöntemlerine büyük ölçüde bağlı olduğu görülmüştür. Ayrıca, söz konusu radar soğurma malzemelerinin makro ve mikro yapı tasarımları sayesinde daha düşük maliyetli, kolay üretilebilir ve yüksek verimlilik özellikleri ile gizleme teknolojilerinde RSA azaltımında kendilerine yer bulabilecekleri değerlendirilmiştir.

Elektromanyetik dalgalar H-RGC kompozit plakalarına çarptığında 20 dBsm değerinde bir azaltım sağlanabilmektedir. M-REM için frekanstan bağımsız olarak en iyi RSA değerleri 24-72° arasında elde edilmişken, H-RGC için 21-72° aralığındadır. Bu değer radar dalgasının yüzeye çarpma açısına bağlı olarak daha da iyileşebildiği görülmüştür. H-RGC katmanlı kompozit plakasının dizilimi ve iletken yansıtıcı yüzeyi oluşturan elastomer karışım içerisinde kullanılan karbon esaslı dolgu malzemelerinin oranı ve tipi daha geniş açı aralıklarında etkili bir RSA elde etmek için değerlendirilebilir. Her iki RAM için frekans bant genişliği arttıkça RSA değerlerinin de iyileştiği görülmüştür. M-REM için 12 GHz frekans da yapılan testlerde en düşük soğurma değeri 72° de, 42,6743 dBsm, H-RGC için en düşük soğurma değeri olarak 42,9219 dBsm ölçülmüştür. H-RGC'ler içerisindeki yansıtıcı yüzeylerdeki nanodolguların üç boyutlu ve karmaşık yapısı sayesinde daha geniş bir açı aralığında soğurma yapabildiği görülmüştür.

Gelecek çalışmalarda iletken nanodolgular ile hazırlanacak katmanlı kompozit yapıların RAM malzemesi olarak çok geniş bir aralıkta kullanılabileceği görülmüştür.

## 5. Teşekkür

Bu çalışma için gerekli olan kompozit numunelerin ve test ekipmanının kullanımını sağlayan Emsa Nano Teknoloji, Enerji San. ve Tic. A.Ş çalışanlarına teşekkür ederiz.

## Kaynakça

Li Z.W., Yang Z.H., Kong L.B. (2010). *Ultrabroad bandwidth of single-layer electromagnetic attenuation composites with*

*flaky fillers*. Applied Physics Letters, 90(9), 092507. <https://doi.org/10.1063/1.3340460>

Park K.Y., Lee S.E., Kim C.G., Han J.H. (2006). *Fabrication and electromagnetic characteristics of electromagnetic wave absorbing sandwich structures*. Composite Science and Technology 66(3-4), 576-84. <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2005.05.034>

Ren W, Nie Y, Xiong X, Zhang C, Zhou Y, Gong R. (2012). *Enhancing and broadening absorption properties of frequency selective surfaces absorbers using FeCoBbased thin film*. Journal of Applied Physics, 111(7), 07E703. <https://doi.org/10.1063/1.3670980>

Liu Q, Zhang D, Fan T. (2008). *Electromagnetic wave absorption properties of porous carbon/Co nanocomposites*. Applied Physics Letters, 93(1), 013110. <https://doi.org/10.1063/1.2957035>

Xu H., Bie S., Xu Y., Yuan W., Chen Q., Jiang J. (2016). *Broad bandwidth of thin composite radar absorbing structures embedded with frequency selective surfaces*. Composites Part A-applied Science and Manufacturing, 80, 111-117. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2015.10.019>

Knott E., Shaeffer, J, Tuley, M. (2004). *Radar Cross Section*. SciTech Publishing Inc., Raleigh.

Badawy M.M, Zainud-Deen S.H.,Malhat H.A. (2020). *Radar-Cross-Section Reduction Using Polarization Conversion Metasurface*. 37th National Radio Science Conference (NRSC), 2020, pp. 66-73. doi: 10.1109/NRSC49500.2020.9235105.

Zhang L., Dong T. (2017). *Low RCS and high-gain CP microstrip antenna using SA-MS*. Electronics Letters, 53(6), 375-376. <https://doi.org/10.1049/el.2016.4654>

Kazantsev Y.N., Lopatin A., Kazantseva N., Shatrov, A.D., Mal'tsev V., Vilčáková J., Sába P. (2010). *Broadening of Operating Frequency Band of Magnetic-Type Radio Absorbers by FSS Incorporation*. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 58(4), 1227-1235. DOI: 10.1109/TAP.2010.2041316

Shang Y., Shen Z., Xiao S. (2013). *On the Design of Single-Layer Circuit Analog Absorber Using Double-Square-Loop Array*. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 61(12), 6022-6029. DOI: 10.1109/TAP.2013.2280836

Franchitto M., Faez R., Orlando A.J.F., Rezende M.C., Martin I.M. (2001). *Electromagnetic behavior of radar absorbing materials based on conducting polymers*. Proceedings of the 2001 SBMO/IEEE MTT-S International Microwave and Optoelectronics Conference. (Cat. No.01TH8568), 2001, pp. 137-140 vol.1, doi: 10.1109/SBMOMO.2001.1008736.

Folgueras L.C., Rezende M.C. (2008). *Multilayer radar absorbing material processing by using polymeric nonwoven and conducting polymer*. Materials Research-ibero-american Journal of Materials, 11(3), 245-249. <https://doi.org/10.1590/S1516-14392008000300003>

Pratap V., Soni A.K., Siddiqui A.M., Abbas S.M., Katiyar R., Prasad N.E. (2020). *Dielectric and Radar-Absorbing Properties of Exfoliated Graphite Dispersed Epoxy Composites*. Journal of Electronic Materials, 49, 3972-3981. <https://doi.org/10.1007/s11664-020-08118-6>

- Vinoy K., Jha R. (2011). *Radar Absorbing Materials: From Theory to Design and Characterization*. Boston: Kluwer Academic Publishers.
- Silva V.A., Folgueras L.C., Cândido G.M., Paula A., Rezende M.C., Costa M.L. (2013). *Nanostructured Composites Based on Carbon Nanotubes and Epoxy Resin for Use as Radar Absorbing Materials*. *Materials Research-iberamerican Journal of Materials*, 16(6), 1299-1308. DOI: 10.1590/S1516-14392013005000146
- Kunrath K., Kerche E.F., Rezende M.C., Amico S. (2019). *Mechanical, electrical, and electromagnetic properties of hybrid graphene/glass fiber/epoxy composite*. *Polymers and Polymer Composites*, 27(5), 262 - 267. <https://doi.org/10.1177/0967391119828559>
- Sasria N., Ardhyananta H., Fajarin R., Widyastuti R. (2017). *Synthesis and Characterization of BaFe12O19/Poly(aniline, pyrrole, ethylene terephthalate) Composites Coatings as Radar Absorbing Material (RAM)*. *Journal of Physics: Conference Series*, 877, 012057.
- Avloni, D.J., Henn D.A. (2007). *Development of New Conductive and Microwave-Lossy Materials Involving Conducting Polymer Coatings*.
- Dedov A.V., Nazarov V.G.(2016). *Multilayer Radar Absorbing Non-Woven Material*. *Radiophysics and Quantum Electronics*, 59(1), 43–47. <https://doi.org/10.1007/s11141-016-9674-x>
- Wong T.C.P., Chambers B., Anderson A.P., Wright P.V. (1995). *Characterisation of conducting polymer-loaded composite materials at oblique incidence and their application in radar absorbers*. *Ninth International Conference on Antennas and Propagation, ICAP '95 (Conf. Publ. No. 407)*, 1995, pp. 441-444 vol.1, doi: 10.1049/cp:19950346.
- Nalwa H.S. (1997). *Conductive Polymers: Synthesis and Electrical Properties in Handbook of Organic Conductive Molecules and Polymers*, v. 2, John Wiley & Sons, New York.



# İleri Glikasyon Son Ürünlerinin (AGEs) Öncüllerinin *in Vitro* Biyoerişilebilirliklerinin Bazı Gıdalarda Belirlenmesi

Mustafa Yaman<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup>İstanbul Sabahattin Zaim University University, Faculty of Health Sciences, Department of Nutrition and Dietetics, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0001-9692-0204), [mustafa.yaman@izu.edu.tr](mailto:mustafa.yaman@izu.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 2 Ağustos 2021 ve Kabul Tarihi 20 Eylül 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.990119)

**ATIF/REFERENCE:** Yaman, M. (2021). İleri Glikasyon Son Ürünlerinin (AGEs) Öncüllerinin *in Vitro* Biyoerişilebilirliklerinin Bazı Gıdalarda Belirlenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (27), 598-604.

## Öz

İleri glikasyon son ürünlerinin (AGE'ler) öncüleri olan glioksal (GO) ve metilglioksal (MGO) hem gıdalarda hemde insan vücudunda oluşabilmektedir.  $\alpha$ -dikarbonil bileşikler olan GO ve MGO proteinlerin amino grubu ile reaksiyona girmesiyle AGE'ler oluşmaktadır. AGE bileşikler kanser ve diyabet gibi birçok kronik hastalığın oluşum nedenleri arasında gösterilmektedir. AGE bileşikler protein ve lipidlerin peroksidasyonu, Maillard reaksiyonları ve gıdaların işlenmesi sırasında oluşabilmektedir. Bu çalışmanın amacı, bisküvi, çips, kahvaltılık gevrek ve süt ürünlerinde bulunan GO ve MGO'un *in vitro* gastrointestinal sindirim sisteminde biyoerişilebilirliğini belirlemek ve gıda çeşitlerine göre oluşumlarını değerlendirmektir. Genel olarak bisküvi ve kahvaltılık gevrek örneklerinin GO ve MGO biyoerişilebilirliği %100'ün üzerinde olduğu görülmüştür. Bisküvi örneklerinden glukoz miktarı yüksek olan örneğin GO biyoerişilebilirliği daha yüksek bulunmuştur. Çips örneklerinde ise GO'un biyoerişilebilirliği %100'ün altında iken MGO biyoerişilebilirliği %100'ün üzerinde bulunmuştur. Süt örneklerinde ise biyoerişilebilirlik hem GO hem de MGO'da %100'ün altında olduğu görülmüştür. Bu çalışmanın sonuçlarına göre yüksek yağ ve tuz *in vitro* ortamda lipidlerin peroksidasyonuna neden olabileceği ve bunun sonucunda  $\alpha$ -dikarbonil bileşiklerinin oluşabileceği düşünülmektedir. Gıdalardaki yağ, tuz ve serbest şeker içeriğinin azaltılması *in vitro* gastrointestinal sistemde daha düşük GO ve MGO oluşumunu sağlayabilir. Bu sonuçları desteklemek için yeni çalışmalara ihtiyaç vardır.

**Anahtar Kelimeler:** Glioksal, Metilglioksal, İleri glikasyon son ürünleri, Biyoerişilebilirlik, Gıda

## Determination of *in Vitro* Bioaccessibility of Precursors of Advanced Glycation End-Products (AGEs) in Some Foods

### Abstract

Glyoxal (GO) and methylglyoxal (MGO), which are the precursors of advanced glycation end products (AGEs), can occur both in food and in the human body. AGEs are formed by the reaction of  $\alpha$ -dicarbonyl compounds, GO and MGO, with the amino group of proteins. AGE compounds are shown as the cause of many chronic diseases such as cancer and diabetes. AGE compounds can be formed during oxidation of proteins and lipids, Maillard reactions, and food processing. The aim of this study is to determine the *in vitro* bioaccessibility of GO and MGO in biscuits, chips, breakfast cereals and milk products and to evaluate their formation according to food types. In general, GO and MGO bioaccessibility in biscuit and breakfast cereal samples were found to be above 100%. GO bioaccessibility of the biscuit sample with high glucose was found to be higher than the other biscuit samples. In the chips samples, the bioaccessibility of GO was below 100%, while the bioaccessibility of MGO was above 100%. In milk samples, it was observed that both GO and MGO bioaccessibility were below 100%. According to the results of this study, it is thought that high fat and salt may cause lipid peroxidation in *in vitro* and as a result,  $\alpha$ -dicarbonyl compounds may be formed. Reducing the fat, salt and free sugar content in foods may result in lower GO and MGO formation in the stimulated gastrointestinal tract. Further studies are needed to support these results.

**Key words:** Glyoxal, Methylglyoxal, Advanced glycation end products, Bioaccessibility, Food.

\* Sorumlu Yazar: [mustafa.yaman@izu.edu.tr](mailto:mustafa.yaman@izu.edu.tr)

## 1. Giriş

İleri glikasyon son ürünlerinin (AGE'ler) öncülükleri hem gıdalarda hemde insan vücudunda oluşabilir (Uribarri vd. 2010; Sharma vd. 2015). AGE'ler protein ve lipidlerin oksidasyonu, Maillard reaksiyonları ve gıdaların işlenmesi sırasında oluşabilir. Maillard reaksiyonları indirgeyici şekerlerin bir karbonil grubu ile proteinlerin, peptitlerin, amino asitlerin ve nükleik asitlerin bir amino grubu arasındaki enzimatik olmayan reaksiyonlar ile başlar ve daha sonra kararsız Schiff bazlarına dönüşür. Bu kararsız ürünler moleküller arası düzenlemelerinden sonra daha kararlı Amadori/Heyns ürünlerine dönüşür. Bu ürünler gliksal (GO), metilgliksal (MGO) ve 3-deoksiglukozon (3-DG) gibi oldukça reaktif  $\alpha$ -dikarbonil bileşiklerine dönüşür (Poulsen vd. 2013). Bu bileşikler lizin, arginin, histidin ve sistein gibi amino asitlerin amino grupları ile reaksiyona girer ve N- $\epsilon$ -karboksimetillizin (CML), N- $\epsilon$ -karboksietillizin (CEL) ve pentosidin gibi AGE son ürünleri dönüşür (Henle 2005; Luevano- Contreras ve Chapman-Novakofski, 2010). GO ve MGO işlenmiş gıdalarda ve biyolojik sistemlerde en çok bulunan  $\alpha$ -dikarbonil bileşikleridir (Liu vd. 2011). GO ve MGO insan vücudunda glukozun oto-oksidasyonu, lipid peroksidasyonu ve poliol yolu sırasında ortaya çıkabilir (Luevano-Contreras ve Chapman-Novakofski, 2010). Maillard reaksiyon ürünleri bağırsak sistemleri tarafından kısmen emilebilir. Yapılan klinik çalışmalarda Tip 2 diyabet hastalarının plazmalarında yüksek miktarlarda  $\alpha$ -dikarbonil bileşiklerinin olduğu bildirilmiştir. GO ve MGO bileşiklerinin pankreas hücrelerinde insülin proteininin amino gruplarına kovalent olarak bağlandığı ve AGE'lerin oluşumuna yol açtığı bildirilmiştir. Bu durumun ise insülin direncine neden olduğu ve hücresel glukoz alımını azalttığı aynı çalışmada belirtilmiştir (Nowotny vd. 2015). Diyabet, alzheimer, parkinson, yaşlanma ve böbrek yetmezliği olan hastalarının dokularında MGO kaynaklı AGE bileşiklerinin yüksek seviyede olduğu bildirilmiştir (Rabbani ve Thornalley, 2014).

Gıdalardaki CML ve MGO miktarının pişirme yöntemi ve pişirme sıcaklığı ile ilişkili olduğu bildirilmiştir. Ayrıca besinlerdeki AGE miktarı ile yağ içeriği ve MGO düzeyi arasında önemli bir korelasyon olduğu da raporlanmıştır. Besinlerdeki en yüksek AGE bileşikleri cips, kraker ve kurabiye gibi yüksek yağ içeren gıdalarda bulunduğu birçok çalışmada ortaya koyulmuştur (Uribarri vd. 2010).

Genel olarak günlük diyetle alınan besin öğelerinin miktarları gıda kompozisyon veri tabanlarında ham ya da pişmiş gıda verilerinden elde edilmektedir. Yapılan birçok *in vitro* ve *in vivo* çalışmalarda göre besin öğelerinin biyoerişilebilirliğine bağlı olarak günlük diyetle alınan miktarın daha farklı olduğu bilinmektedir. Bu nedenle günlük diyetlerde besin öğelerinin miktarı hesaplanırken biyoerişilebilirliğine değerlendirilmelidir (Yaman vd. 2021). Maillard reaksiyon ürünlerinin *in vitro* ve *in vivo* ortamda biyoerişilebilirliği hakkında çok az sayıda çalışma bulunmaktadır. Patates kızartması ve cipslerde mide sindiriminden sonra akrilamid'in biyoerişilebilirliğinin arttığını bildirilmiştir (Sansano vd. 2017). Sirke örneklerinde ise GO ve MGO'nun *in vitro* biyoerişilebilirliğinin azaldığını bildirmiştir (Papetti vd. 2013). Soya sosunda ise GO ve MGO'nun *in vitro* biyoerişilebilirliğinin arttığını bildirmiştir (Papetti vd. 2014). Gördüğü gibi farklı gıda çeşitlerine göre Maillard reaksiyon ürünlerinin biyoerişilebilirliğinde artış ve azalışlar olduğu görülmektedir. Bilindiği gibi işlenmiş gıdalar AGE bileşiklerinin oluşumuna yol açan yüksek miktarda GO ve MGO içermektedir.

İşlenmiş gıdalardaki GO ve MGO'nun *in vitro* biyoerişilebilirliğinin bilinmesi diyetle alınan son AGE miktarlarını belirlemesi açısından önemli olacaktır. Bu araştırmanın amacı *in vitro* gastrointestinal sindirim sistemi kullanılarak bazı gıdalarda bulunan GO ve MGO'nun biyoerişilebilirliğini belirlemek ve gıda çeşitlerine göre oluşumlarını değerlendirmektir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Materyal

Gliksal, metilgliksal, metanol, asetonitril, sodyum asetat, 4-nitro-1,2-fenilendiamin, fruktoz, glukoz, sakkaroz, alfa-amilaz (1.5 U/mg), pepsin ( $\geq 250$  ünite/mg), pankreatin (8 x USP), lipaz (100-500 ünite/mg), NaHCO<sub>3</sub>, CaCl<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O, KCl, NaCl, serum albümin (sığır), safra tuzları, üre, ürik asit ve müsün Sigma-Aldrich'ten (St. Louis, MO, ABD) temin edilmiştir.

### 2.2. Örneklem

Bu çalışmada kullanılan gıda örnekleri İstanbul'daki farklı marketlerden alınmıştır. Numunelerin içerikleri Tablo 1'de verilmiştir.

### 2.3. GO ve MGO Ekstraksiyonu ve Türevlendirme

Homojenize edilmiş 5 g numune 50 mL'lik plastik falkon tüpü içine tartıldı ve 25 mL metanol ilave edildi. Numune 5 dk vortekslandı ve 8000 rpm'de 5 dakika santrifüj edildi. 1 mL supernatant 10 mL'lik cam tüp içine alındı ve üzerine 1 mL CH<sub>3</sub>COONa tamponu (0.1 M, pH: 3) ilave edildi. Daha sonra 0.5 mL türevlendirme solüsyonu (%1 metanol içinde 4-nitro-1,2-fenilendiamin) ilave edildi. Karışım 70 °C'de 20 dakika inkübe edildi. Numuneler 0,45  $\mu$ m'lik selüloz asetat filtresi kullanılarak süzülde ve HPLC'ye enjekte edildi (Cengiz vd. 2020).

### 2.4. GO ve MGO'nun ile HPLC Tayini

GO ve MGO'nun kantitatif tayininde Shimadzu SPD-20A UV/VIS dedektörü (Shimadzu Corporation, Kyoto, Japonya) ile Shimadzu LC 20AT pompasından oluşan HPLC Sistemi kullanıldı. Ayırma işleminde Metanol:Su:Asetonitril'den (42:56:2 v/v/v) oluşan mobil faz kullanıldı ve akış hızı 1 mL/dk olarak ayarlandı. Ayırma işleminde Inersil ODS-3 kolon kullanıldı ve dedektörün dalga boyu 254 nm'ye kolon fırın sıcaklığı ise 30°C'ye ayarlandı.

### 2.5. Şeker Bileşenleri Ekstraksiyonu

Homojenize edilmiş 5 g numune 50 mL'lik falkon tüpü içine tartıldı. Üzerine 25 mL deiyonize su ilave edildi ve vorteks kullanılarak 5 dakika ekstrakte edildi. Daha sonra hacim deiyonize su ile 50 mL'ye tamamlandı ve 8000 rpm'de 10 dakika santrifüj edildi (Richmond vd. 1981). Numuneler, 0,45  $\mu$ m'lik selüloz asetat filtresi ile süzülde ve HPLC'ye enjekte edildi.

### 2.6. Şeker Bileşenlerinin HPLC ile Tayini

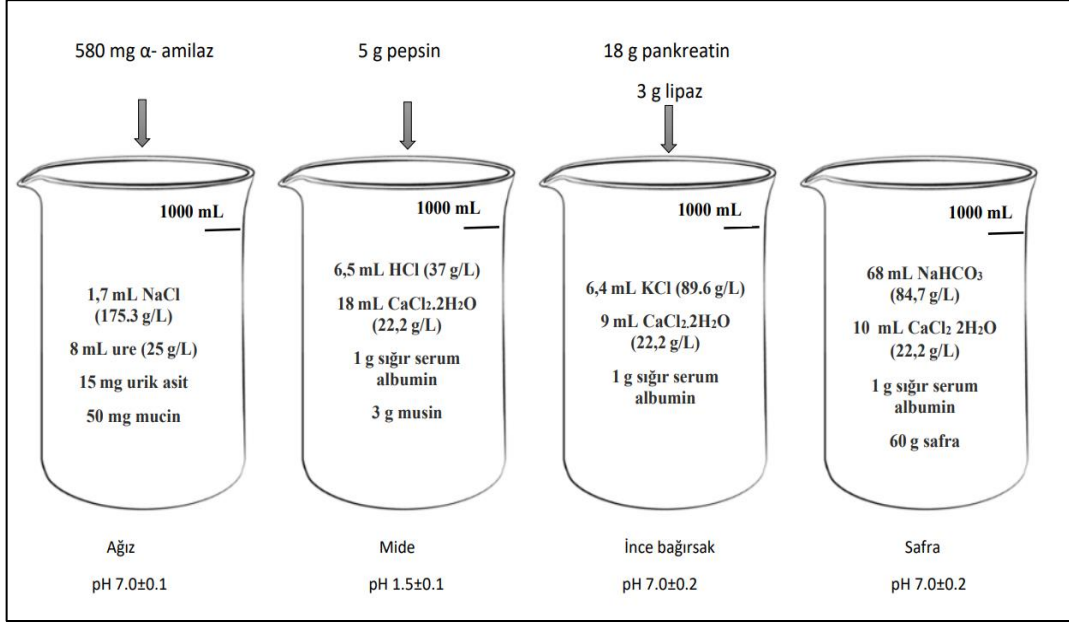
Şeker bileşenlerinin kantitatif tayininde Shimadzu RI-20A dedektörü (Shimadzu Corporation, Kyoto, Japonya) ile Shimadzu LC 20AT pompasından oluşan HPLC Sistemi kullanıldı. Ayırma işleminde Asetonitril'den ve deiyonize su'dan (80:20 v/v) oluşan mobil faz kullanıldı ve akış hızı 2 mL/dk olarak ayarlandı. Ayırma işleminde Agilent NH<sub>2</sub>, 250 x 4.6 mm, 5  $\mu$ m kolon kullanıldı ve kolon fırın sıcaklığı ise 40 °C'ye ayarlandı.

### 2.7. GO ve MGO'nun *in vitro* Biyoerişilebilirliği

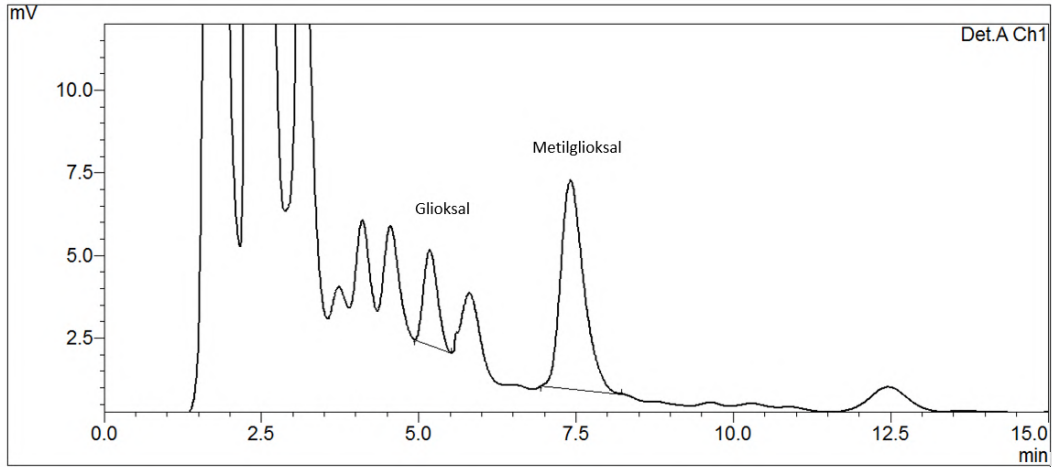
Gıdalardaki GO ve MGO'nun biyoerişilebilirliği *in vitro* gastrointestinal sindirim sistemi kullanılarak belirlendi (Yaman vd. 2019). Tükürük, mide, ince bağırsak ve safra sıvısı Şekil 1'de gösterildiği gibi hazırlandı.

Beş gram numune 50 mL'lik falkon tüp içine tartıldı. Üzerine 5 mL tükürük sıvısı ilave edildi ve çalkalamalı su banyosunda 37

°C'de 5 dk inkübe edildi. Daha sonra 10 mL mide sıvısı ilave edildi ve çalkalamalı su banyosunda 37 °C'de 30 dk inkübe edildi. Hazırlanan safra sıvısından 5 mL ilave edildi ve pH 7'ye ayarlandı. Üzerine ince bağırsak sıvısından 10 mL eklendi ve 37°C'de çalkalama su banyosunda 2 saat inkübe edildi. Daha sonra son hacim deiyonize su ile 50 mL'ye tamamlandı ve karışım 8000 rpm'de 5 dakika santrifüjlendi.



Şekil 1. *In vitro* insan sindirim modelinde kullanılan tükürük, mide, ince bağırsak ve safra sıvısının hazırlanışı.



Şekil 2. Bisküvide glioksal (GO) ve metilglioksal (MGO) HPLC kromatogramı (örnek 1).

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

GO ve MGO'un örnek HPLC kromatogramı (bisküvi) Şekil 2'de gösterilmektedir. Sindirimden önce ve sonra GO ve MGO'nun miktarı ve biyoerişilebilirlik bulguları Tablo 2'de

gösterilmiştir. Numunelerin etiketleri üzerinde beyan edilen yağ miktarı ve analiz sonucunda elde edilen şeker bileşenleri sonuçları Tablo 1'de gösterilmiştir.

**Tablo 1.** Numunelerin beyan edilen yağ içerikleri, şeker bileşenleri miktarları ve içerikleri.

No	Ürün adı	Beyan edilen yağ miktarı (g/100 g)	Fruktoz (g/100 g)	Glukoz (g/100 g)	Sakkaroz (g/100 g)
1	Bisküvi, Lif Kepeği, Limon	12,5	0,51±0.01	3,38±0.05	8,76±0,12
2	Bisküvi, Tam Buğday, Yağı Azaltılmış	10,8	0,61±0	0,28±0.01	2,19±0.06
3	Bisküvi, Lif Kepeği, Karışık Meyve, Şekeri azaltılmış	13	0,47±0.02	6,08±0,66	0,68±0.01
4	Biscuits, Black Seed Grass, Quinoa	11	0,56±0.01	0,79±0.01	0,96±0
5	Bisküvi, Çörek Otu, Kinoa	17	0,51±0.01	0,23±0	16,64±0.54
6	Bisküvi, Buğday unu	9,6	1,52±0.03	1,68±0,15	16,76±0,62
7	Gofret, fındık	29,11	0,02±0	0,02±0	6,81±0,05
8	Bisküvi, Buğday unu	21	0±0	0±0	28.16±0.78
9	Cips, mısır, fıstık	31,7	0±0	0±0	0±0
10	Cips, patates	33,8	0±0	0±0	0±0
11	Cips, mısır, peynir	26,5	0±0	0±0	0±0
12	Tahıl Gevreği, Çikolata	4.8	0,08±0	0,02±0	11,01±0.22
13	Tahıl Gevreği, Çikolata	7	0,05±0	0±0	21,71±0.78
14	Milk, UHT	3,1	0±0	0±0	0±0
15	Milk, UHT, kakao	1,5	0±0	0±0	0±0
16	Milk, UHT, çilek	1,5	0±0	0±0	0±0

Ortalama değer (n = 3) standart sapma ile verildi.

Bisküvi örneklerinde *in vitro* sindirimden öncesi ölçülen GO ve MGO miktarları sırasıyla 81 ile 169 µg/100 g ve 55 ile 607 µg/100 g arasında değişmektedir. Sindirimden sonra ise GO ve MGO'nun biyoerişilebilirliği sırasıyla %33 ile %236, ve %40 ile %114 arasında bulunmuştur. Etiket üzerinde beyan edilen yağ miktarı 9,6 ile 29,11 g/100 g arasında değişmektedir. Sonuçlara bakıldığında bisküvilerdeki yağ içeriği ve biyoerişilebilirlik arasında anlamlı bir ilişki görülmemiştir. Karışık meyveli bisküvi örneğinin diğer bisküvilere göre daha yüksek GO biyoerişilebilirliğine sahip olduğu görülmektedir. Diğer bisküvilerden farklı olarak bu bisküvide yüksek miktarda glukoz olduğunda Tablo 1'de görülmektedir. Hrynets vd. (2015) glukozamin, N-asetil-glukozamin ve glukozun NH<sub>3</sub>'ün bulunduğu *in vitro* ortamda α-dikarbonil bileşiklerine dönüştüğünü bildirmiştir. Görüldüğü gibi bizim çalışmamızda da glukozun *in vitro* ortamda α-dikarbonil bileşiklerine dönüştüğü düşünülmektedir. MGO'nun hem enzimatik olarak hem de enzimatik olmayan ortamda protein glikasyonu yoluyla oluşabileceği bildirilmiştir (O'Brien vd. 1998). Amrein vd. (2006) α-dikarbonil bileşiklerinin oluşumları ile glukoz ve fruktoz arasında sakarozla göre daha yüksek bir korelasyon olduğunu bildirmiştir. Dolayısıyla bizim çalışmamızdaki bisküvilerde

glukoz miktarının GO'nun *in vitro* biyoerişilebilirliğini etkilediği düşünülmektedir.

Cips örneklerinde *in vitro* sindirim öncesi ölçülen GO ve MGO miktarı sırasıyla 135 ve 142 µg/100 g, ve 42 ve 69 µg/100 g arasında bulunmuştur. GO ve MGO'nun *in vitro* biyoerişilebilirliği sırasıyla %67 ile %86, ve %213 ile %392 arasında bulunmuştur. Etiket üzerinde beyan edilen yağ ve tuz içeriği 26,5 ile 33,8 g/100 g arasında iken tuz içeriği 1,0 ile 1,5 g/100 g arasındadır. Bu sonuçlardan görüldüğü gibi GO'nun *in vitro* biyoerişilebilirliği %100'ün altında iken MGO'nun biyoerişilebilirliği %100'ün üzerindedir. İşlenmiş gıdalardaki yağ miktarının α-dikarbonil bileşiklerinin oluşumunu etkilediği bilinmektedir. Bizim çalışmamızdaki cipslerde MGO'nun *in vitro* biyoerişilebilirliği %100'ün üzerinde olmasının nedeni içeriğindeki yüksek yağ miktarından kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir. Çünkü *in vitro* ortamda yağların oksidasyonu sonucu α-dikarbonil bileşiklerinin oluştuğu bilinmektedir. Bunun yanında cipslerde belirli miktarda tuz içermektedir. Tuz içeriğinin MGO'nun biyoerişilebilirliğini *in vitro* ortamda arttırdığı da düşünülmektedir.

**Tablo 2.** Sindirim öncesi ve sindirim sonrası GO ve MGO'nun miktarları ve biyoerişilebilirlikleri.

Örnek no	Sindirim Öncesi	Sindirim Sonrası	Sindirim Öncesi	Sindirim Sonrası	Biyoeerişilebilirlik %	
	GO ( $\mu\text{g}/100\text{ g}$ )	GO ( $\mu\text{g}/100\text{ g}$ )	MGO ( $\mu\text{g}/100\text{ g}$ )	MGO ( $\mu\text{g}/100\text{ g}$ )	GO	MGO
1	143 $\pm$ 4 <sup>a</sup>	149 $\pm$ 4 <sup>a</sup>	347 $\pm$ 8 <sup>a</sup>	140 $\pm$ 2 <sup>b</sup>	104 $\pm$ 3	40 $\pm$ 1
2	160 $\pm$ 6 <sup>a</sup>	128 $\pm$ 5 <sup>b</sup>	55 $\pm$ 2 <sup>a</sup>	59 $\pm$ 3 <sup>a</sup>	80 $\pm$ 3	109 $\pm$ 6
3	81 $\pm$ 3 <sup>a</sup>	191 $\pm$ 3 <sup>b</sup>	607 $\pm$ 16 <sup>a</sup>	212 $\pm$ 6 <sup>b</sup>	236 $\pm$ 4	35 $\pm$ 1
4	156 $\pm$ 5 <sup>a</sup>	52 $\pm$ 3 <sup>b</sup>	101 $\pm$ 4 <sup>a</sup>	115 $\pm$ 6 <sup>b</sup>	33 $\pm$ 2	114 $\pm$ 6
5	122 $\pm$ 3 <sup>a</sup>	76 $\pm$ 3 <sup>b</sup>	178 $\pm$ 8 <sup>a</sup>	78 $\pm$ 3 <sup>b</sup>	62 $\pm$ 2	44 $\pm$ 2
6	169 $\pm$ 5 <sup>a</sup>	202 $\pm$ 8 <sup>b</sup>	211 $\pm$ 9 <sup>a</sup>	220 $\pm$ 6 <sup>a</sup>	119 $\pm$ 4	104 $\pm$ 3
7	153 $\pm$ 4 <sup>a</sup>	48 $\pm$ 4 <sup>b</sup>	23 $\pm$ 2 <sup>a</sup>	24 $\pm$ 1 <sup>a</sup>	31 $\pm$ 3	103 $\pm$ 4
8	113 $\pm$ 3 <sup>a</sup>	92 $\pm$ 3 <sup>b</sup>	167 $\pm$ 5 <sup>a</sup>	102 $\pm$ 3 <sup>b</sup>	81 $\pm$ 2	61 $\pm$ 2
9	135 $\pm$ 4 <sup>a</sup>	100 $\pm$ 4 <sup>b</sup>	57 $\pm$ 3 <sup>a</sup>	121 $\pm$ 4 <sup>b</sup>	74 $\pm$ 3	213 $\pm$ 6
10	141 $\pm$ 4 <sup>a</sup>	121 $\pm$ 5 <sup>b</sup>	42 $\pm$ 2 <sup>a</sup>	163 $\pm$ 6 <sup>b</sup>	86 $\pm$ 4	392 $\pm$ 15
11	142 $\pm$ 3 <sup>a</sup>	95 $\pm$ 4 <sup>b</sup>	49 $\pm$ 3 <sup>a</sup>	168 $\pm$ 7 <sup>b</sup>	67 $\pm$ 3	344 $\pm$ 14
12	169 $\pm$ 3 <sup>a</sup>	370 $\pm$ 6 <sup>b</sup>	65 $\pm$ 3 <sup>a</sup>	137 $\pm$ 4 <sup>b</sup>	220 $\pm$ 3	210 $\pm$ 6
13	142 $\pm$ 4 <sup>a</sup>	108 $\pm$ 4 <sup>b</sup>	55 $\pm$ 2 <sup>a</sup>	66 $\pm$ 3 <sup>b</sup>	76 $\pm$ 3	121 $\pm$ 6
14	62 $\pm$ 3 <sup>a</sup>	11 $\pm$ 1 <sup>b</sup>	19 $\pm$ 2 <sup>a</sup>	7 $\pm$ 1 <sup>b</sup>	17 $\pm$ 1	39 $\pm$ 3
15	111 $\pm$ 3 <sup>a</sup>	27 $\pm$ 1 <sup>b</sup>	25 $\pm$ 3 <sup>a</sup>	8 $\pm$ 1 <sup>b</sup>	25 $\pm$ 1	30 $\pm$ 2
16	114 $\pm$ 4 <sup>a</sup>	11 $\pm$ 1 <sup>b</sup>	43 $\pm$ 3 <sup>a</sup>	8 $\pm$ 1 <sup>b</sup>	10 $\pm$ 1	18 $\pm$ 2

Ortalama değer (n = 3) standart sapma ile verildi.

Kahvaltılık gevrek örneklerinde *in vitro* sindirim öncesi ölçülen GO ve MGO miktarı sırasıyla 142 ile 169  $\mu\text{g}/100\text{ g}$ , ve 55 ile 65  $\mu\text{g}/100\text{ g}$  arasında bulunmuştur. Tablo 1'de görüldüğü gibi kahvaltılık gevrek örneklerinde şeker olarak daha çok sakaroz bulunmaktadır. Etiket üzerinde beyan edilen yağ miktarları ile 4,8 ile 7,0  $\text{g}/100\text{ g}$  arasındadır. GO ve MGO'un *in vitro* biyoerişilebilirliği sırasıyla %76 ile %220, ve %121 ile %210 arasında bulunmuştur. İşlenmiş gıdalarda yüksek yağ içeriği GO ve MGO'nun miktarını arttırdığı bilinmektedir. Bilindiği gibi *in vitro* ortamda lipid peroksidasyonu sonucu GO ve MGO oluşabilmektedir. Kahvaltılık gevreklerde belirli miktarda yağ içerdiğinden dolayı GO ve MGO'nun biyoerişilebilirliğinin lipid peroksidasyonuna bağlı olarak arttığı düşünülmektedir.

Süt örneklerinde sindirim öncesi ölçülen GO ve MGO miktarı sırasıyla 62 ve 114  $\mu\text{g}/100\text{ g}$ , ve 19 ve 43  $\mu\text{g}/100\text{ g}$  arasında bulunmuştur. Ekitet üzerinde beyan edilen yağ miktarı ise 1,5 ile 3,1  $\text{g}/100\text{ g}$  arasında değişmektedir. GO ve MGO'nun biyoerişilebilirliği sırasıyla %10 ile %25, ve %18 ile %39 arasında değişmektedir. Süt örneklerinin biyoerişilebilirliği diğer gıdalarda göre karşılaştırıldığında daha düşük olduğu görülmektedir. Süt proteinlerinde vitamin (Yaman vd. 2019) ve mineral (Vegarud vd. 2000) bağlayıcı proteinler gibi birçok bağlayıcı protein bulunmaktadır. Örneğin, folat bağlayıcı

proteinler, bağırsak bakterilerine karşı koruma sağlamak için folatı bağlamaktadırlar. Sütte bulunan bağlayıcı proteinlerin GO ve MGO'yu bağlandığı ve dolayısıyla biyoerişilebilirliği azalttığı düşünülmektedir.

Papetti vd. (2013) balzamik sirkesinde bulunan  $\alpha$ -dikarbonil bileşiklerindeki GO ve MGO'un *in vitro* biyoerişilebilirliklerinin yaklaşık %30 azaldığını raporlamıştır. Bu çalışmada sindirim enzimlerinin varlığında  $\alpha$ -dikarbonil bileşiklerinin AGE bileşiklerine dönüştüğünden dolayı biyoerişilebilirliğin azaldığı raporlanmıştır. Başka bir çalışmada yine sindirim sırasında  $\alpha$ -dikarbonil bileşiklerinin proteinlerle reaksiyona girdiği ve AGE'lerin oluştuğunu bildirmiştir (Yang vd. 2011). Martinez-Saez vd. (2019) serbest amino asitlerin *in vitro* ortamda glukoz ve fruktoz ile reaksiyona girerek Maillard reaksiyon ürünlerinin oluştuğunu bildirmiştir. Sindirim sırasında proteinler ve nişasta enzimler tarafından hidrolize edilir. Proteinlerden serbest amino asitler ve nişastada ise serbest şekerler salınmaktadır. Aynı çalışmada sindirim sırasında oluşan reaktif serbest amino asitlerin reaktif karbonil gruplarıyla reaksiyona girmesiyle CML ve CEL gibi AGE'lerin oluştuğu bildirilmiştir. Başka bir çalışmada ise *in vitro* ortamda kahvede GO, MGO ve DA'nın *in vitro* biyoerişilebilirliği sırasıyla %74, %29 ve %67 oranında azaltılmıştır (Papetti vd. 2014). Benzer şekilde sindirim

proteinleri ile  $\alpha$ -dikarbonil bileşiklerinin *in vitro* ortamda reaksiyona girdiği ve AGE son ürünlerinin oluştuğu ve bu nedenle  $\alpha$ -dikarbonil bileşiklerinin biyoerişilebilirliğinin azaldığı bildirilmiştir. Aynı çalışmada soya sosunda GO ve MGO'un *in vitro* biyoerişilebilirliği %290 ve %1000 olarak bulunmuştur. Bu artışın nedeni olarak gıda içindeki farklı matrikslerin biyoerişilebilirliği artırabileceği bildirilmiştir. Çalışmamızda görüldüğü gibi GO ve MGO'nun *in vitro* biyoerişilebilirliği bisküvi, cips ve kahvaltılık gevreklerde genel olarak %100'ün üzerinde bulunmuştur.

Gıdalarda *in vitro* ortamda yağların oksidasyona uğramasıyla reaktif  $\alpha$ -dikarbonil bileşiklerinin oluştuğu düşünülmektedir. (Hidalgo vd. 2016; Yu vd. 2016; Zamora ve Hidalgo, 2011). Mariutti vd. (2017) lipidlerin oksidasyonunun hem enzimatik hem de enzimatik olmayan ortamda tuz ilavesiyle ve oksijen varlığında oluşabileceğini bildirmiştir. Sodyum klorür anti-mikrobiyal gıda katkı maddesi olarak kullanılır. Tuz ilavesi antioksidan enzimlerin aktivitesini azaltmaktadır. Bilindiği gibi anti-oksidan enzimler lipid oksidasyonunu engeller (Mariutti vd. 2017). Bu çalışmada görüldüğü gibi tuz içeren gıdalarda tuzun antioksidan enzimlerin aktivitesini azaltacağından dolayı lipid oksidasyonun artacağı ve böylece  $\alpha$ -dikarbonil bileşiklerinin *in vitro* biyoerişilebilirliğinin artabileceği düşünülmektedir.

Bu çalışmanın sonuçlarından da görüldüğü gibi tuz ve yağ birlikte *in vitro* gastrointestinal sistemde reaktif  $\alpha$ -dikarbonil olan GO ve MGO'nun miktarına artırdığı düşünülmektedir. Polifenoller, vitaminler, kateşinler ve proantosiyeninler gibi bazı antioksidanlar gıdalarda reaktif  $\alpha$ -dikarbonil bileşikleri ve AGE'lerin oluşumunu engelleyebileceği bildirilmiştir (Wu ve Yen, 2005; Peng vd. 2010). Yağ ve tuz içeren gıdaların antioksidanlar ile birlikte tüketilmesi *in vitro* ortamda da  $\alpha$ -dikarbonil bileşiklerinin oluşumunu engeleyebileceği düşünülmektedir. Dolayısıyla gelecekte bu düşüncüyü destekleyici çalışmalara ihtiyaç vardır.

#### 4. Sonuç

Maillard reaksiyon ürünleri hem gıda işleme sırasında hem de insan vücudunda AGE'lerin oluşumuna neden olmaktadır. Bilindiği gibi AGE'lerin en güçlü öncülleri olan GO ve MGO lizin, arginin ve histidin gibi reaktif amino asitlerle reaksiyona girerek AGE'leri oluşturmaktadır. Bu zararlı AGE bileşikleri kardiyovasküler hastalıklarına, Alzheimer hastalığına ve diyabetin komplikasyonlarına neden olabilmektedir. Literatürde GO ve MGO'nun biyoerişilebilirliği hakkında sınırlı çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmada süt hariç diğer gıdalarda GO ve MGO'un *in vitro* biyoerişilebilirliğinin genel olarak arttığı görülmüştür. Yüksek yağ ve tuz *in vitro* ortamda lipidlerin peroksidasyonuna neden olabileceği ve bunun sonucunda  $\alpha$ -dikarbonil bileşiklerinin oluşabileceği düşünülmektedir. Gıdalardaki yağ, tuz ve serbest şeker içeriğinin azaltılması *in vitro* gastrointestinal sistemde daha düşük GO ve MGO oluşumunu sağlayabilir. Bu sonuçları desteklemek için yeni çalışmalara ihtiyaç vardır.

#### 5. Teşekkür

Bu çalışma İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi ARGE laboratuvarlarında tamamlanmıştır. Desteklerinden dolayı İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi'ne teşekkür ederiz.

#### 6. Kaynakça

- Amrein, T. M., Andres, L., Manzardo, G. G., & Amadò, R. (2006). Investigations on the promoting effect of ammonium hydrogencarbonate on the formation of acrylamide in model systems. *Journal of agricultural & food chemistry*, 54(26), 10253-10261.
- Cengiz, S., Kışmıroğlu, C., Cebi, N., Catak, J., & Yaman, M. (2020). Determination of the most potent precursors of advanced glycation end products (AGEs) in chips, crackers, and breakfast cereals by high performance liquid chromatography (HPLC) using precolumn derivatization with 4-nitro-1, 2-phenylenediamine. *Microchemical Journal*, 158, 105170.
- Henle, T. (2005). Protein-bound advanced glycation end products (AGEs) as bioactive amino acid derivatives in foods. *Amino acids*, 29(4), 313-322.
- Hidalgo, F. J., León, M. M., & Zamora, R. (2016). Amino acid decarboxylations produced by lipid-derived reactive carbonyls in amino acid mixtures. *Food chemistry*, 209, 256-261.
- Hrynets, Y., Ndagijimana, M., & Betti, M. (2015). Studies on the formation of Maillard and caramelization products from glucosamine incubated at 37 C. *Journal of agricultural & food chemistry*, 63(27), 6249-6261.
- Luevano-Contreras, C., & Chapman-Novakofski, K. (2010). Dietary advanced glycation end products and aging. *Nutrients*, 2(12), 1247-1265.
- Mariutti, L. R., & Bragagnolo, N. (2017). Influence of salt on lipid oxidation in meat and seafood products: A review. *Food Research International*, 94, 90-100.
- Martinez-Saez, N., Fernandez-Gomez, B., Cai, W., Uribarri, J., & del Castillo, M. D. (2019). In vitro formation of Maillard reaction products during simulated digestion of meal-resembling systems. *Food Research International*, 118, 72-80.
- Nowotny, K., Jung, T., Höhn, A., Weber, D., & Grune, T. (2015). Advanced glycation end products and oxidative stress in type 2 diabetes mellitus. *Biomolecules*, 5(1), 194-222.
- Papetti, A., Mascherpa, D., & Gazzani, G. (2014). Free  $\alpha$ -dicarbonyl compounds in coffee, barley coffee and soy sauce and effects of *in vitro* digestion. *Food chemistry*, 164, 259-265.
- Papetti, A., Mascherpa, D., Marrubini, G., & Gazzani, G. (2013). Effect of *In Vitro* Digestion on Free  $\alpha$ -Dicarbonyl Compounds in Balsamic Vinegars. *Journal of food science*, 78(4), 514-519.
- Peng, X., Ma, J., Cheng, K. W., Jiang, Y., Chen, F., & Wang, M. (2010). The effects of grape seed extract fortification on the antioxidant activity and quality attributes of bread. *Food Chemistry*, 119(1), 49-53.
- Poulsen, M. W., Hedegaard, R. V., Andersen, J. M., de Courten, B., Bügel, S., Nielsen, J., Skibsted, L. H., & Dragsted, L. O. (2013). Advanced glycation endproducts in food and their effects on health. *Food & Chemical Toxicology*, 60, 10-37.
- Rabbani, N., & Thornalley, P. J. (2014). The critical role of methylglyoxal and glyoxalase 1 in diabetic nephropathy. *Diabetes*, 63(1), 50-52.
- Richmond, M. L., Brandao, S. C., Gray, J. I., Markakis, P., & Stine, C. M. (1981). Analysis of simple sugars and sorbitol in fruit by high-performance liquid chromatography. *Journal of agricultural & Food chemistry*, 29(1), 4-7.



- Sansano, M., Heredia, A., Peinado, I., & Andrés, A. (2017). Dietary acrylamide: What happens during digestion. *Food chemistry*, 237, 58-64.
- O'Brien, J., Nursten, H. E., Ames, J. M., Crabbe, M. J. C., & Crabbe, J. (Eds.). (1998). *The Maillard reaction in foods and medicine* (Vol. 223). Woodhead Publishing.
- Uribarri, J., Woodruff, S., Goodman, S., Cai, W., Chen, X., Pyzik, R., Yong, A., Striker, G.E., & Vlassara, H. (2010). Advanced glycation end products in foods and a practical guide to their reduction in the diet. *Journal of the American Dietetic Association*, 110(6), 911-916.
- Vegarud, G. E., Langsrud, T., & Svenning, C. (2000). Mineral-binding milk proteins and peptides; occurrence, biochemical and technological characteristics. *British Journal of Nutrition*, 84(1), 91-98.
- Wu, C. H., & Yen, G. C. (2005). Inhibitory effect of naturally occurring flavonoids on the formation of advanced glycation endproducts. *Journal of agricultural & food chemistry*, 53(8), 3167-3173.
- Yaman, M., & Mızrak, Ö. F. (2019). Determination and evaluation of in vitro bioaccessibility of the pyridoxal, pyridoxine, and pyridoxamine forms of vitamin B6 in cereal-based baby foods. *Food chemistry*, 298.
- Yaman, M., Mızrak, Ö. F., Çatak, J., & Sargın, H. S. (2019). In vitro bioaccessibility of added folic acid in commercially available baby foods formulated with milk and milk products. *Food Science and Biotechnology*, 28(6), 1837-1844.
- Yaman, M., Çatak, J., Uğur, H., Gürbüz, M., Belli, İ., Tanyıldız, S. N., & Yaldız, M. C. (2021). The bioaccessibility of water-soluble vitamins: A review. *Trends in Food Science & Technology*.
- Yang, K., Qiang, D., Delaney, S., Mehta, R., Bruce, W.R., & O'Brien, P.J. (2011). Differences in Glyoxal and methylglyoxal metabolism determine cellular susceptibility to protein carbonylation and cytotoxicity. *Chemico-Biological Interactions*, 191, 322-9.
- Yu, L., He, Z., Zeng, M., Zheng, Z., He, J., Wang, M., & Chen, J. (2016). Effects of oxidised linoleic acid on the formation of Nε-carboxymethyl-lysine and Nε-carboxyethyl-lysine in Maillard reaction system. *International journal of food science & technology*, 51(3), 742-752.
- Zamora, R., & Hidalgo, F. J. (2011). The Maillard reaction and lipid oxidation. *Lipid Technology*, 23(3), 59-62.



# Bazı Yeni 2,5-Disübstitüe Benzoksazol Türevlerinin Sentezi, Antimikrobiyal Aktivite, Moleküler Doking ve DFT Çalışmaları

Meryem Erol<sup>1\*</sup>, İsmail Çelik<sup>2</sup>, Gülcan Kuyucuklu<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Erciyes University, Faculty of Pharmacy, Department of Pharmaceutical Chemistry, Kayseri, Turkey (ORCID: 0000-0001-5676-098X), [eczacimeryem@gmail.com](mailto:eczacimeryem@gmail.com)

<sup>2</sup> Erciyes University, Faculty of Pharmacy, Department of Pharmaceutical Chemistry, Kayseri, Turkey (ORCID: 0000-0002-8146-1663), [ismailcelik@erciyes.edu.tr](mailto:ismailcelik@erciyes.edu.tr)

<sup>3</sup> Trakya University, Faculty of Medicine, Department of Medical Microbiology, Edirne, Turkey (ORCID: 0000-0003-1596-1659), [gulcankuyucuklu@gmail.com](mailto:gulcankuyucuklu@gmail.com)

(İlk Geliş Tarihi 15 Haziran 2021 ve Kabul Tarihi 24 Eylül 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.952738)

**ATIF/REFERENCE:** Erol, M., Çelik, İ. & Kuyucuklu, G. (2021). Bazı Yeni 2,5-Disübstitüe Benzoksazol Türevlerinin Sentezi, Antimikrobiyal Aktivite, Moleküler Doking ve DFT Çalışmaları. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (27), 605-614.

## Öz

Bu çalışmada 6 adet orijinal 2,5-disübstitüe benzoksazol türevi sentezlendi ve yapıları <sup>1</sup>H-NMR, <sup>13</sup>C-NMR spektroskopisi ve HRMS ile aydınlatıldı. Sentezlenen bileşiklerin mikrodilüsyon tekniği ile çeşitli Gram (+), Gram (-) bakteri, mantar ve bunların izolatlarına karşı antimikrobiyal aktiviteleri incelendi. Test edilen benzoksazol türevlerinin antimikrobiyal aktiviteleri genel olarak referans ilaçlara göre daha zayıf olmakla birlikte; en iyi aktiviteyi *C. albicans* izolatına karşı MİK: 16 µg/mL ile **C1**, **C5** ve **C6** türevleri gösterdi. Bileşiklerin moleküler doking çalışması gerçekleştirildi ve *C. albicans* izotına karşı en etkili bileşiklerden biri olan **C5**'in (doking skoru en düşük olan) 2D/3D protein-ligand etkileşimleri gösterildi. Ayrıca tüm bileşiklerin HOMO-LUMO enerjileri ve bu enerjilerden elde edilen iyonlaşma potansiyeli (İP), elektron afinitesi (EA), elektronegatiflik (X), kimyasal sertlik (η), kimyasal yumuşaklık (S), kimyasal potansiyel (μ) ve elektrofilik indeks (ω) gibi diğer elektronik parametreleri hesaplandı. **C1**, **C5** ve **C6**'nın HOMO-LUMO diyagramı, moleküler elektrostatik potansiyel analizi ve optimize edilmiş moleküler yapıları da görsel olarak sunuldu.

**Anahtar Kelimeler:** Benzoksazol, Sentez, Antimikrobiyal aktivite, DFT, Moleküler doking.

## Synthesis, Antimicrobial Activity, Molecular Docking and DFT Studies of Some New 2,5-Disubstituted Benzoxazole Derivatives

### Abstract

In this study, 6 original 2,5-disubstituted benzoxazole derivatives were synthesized and their structures were elucidated by <sup>1</sup>H-NMR, <sup>13</sup>C-NMR spectroscopy, and HRMS. Their antimicrobial activities against various Gram (+), Gram (-) bacteria, fungi, and their isolates were investigated by microdilution technique. Although antimicrobial activities of tested benzoxazole derivatives were generally weaker than reference drugs; **C1**, **C5** and **C6** derivatives showed the best activity against *C. albicans* isolate with MIC: 16 µg/mL. Molecular docking study of the compounds was carried out and 2D/3D protein-ligand interactions of **C5** (the lowest docking score), one of the most effective compounds against *C. albicans* isolate, were demonstrated. In addition, HOMO-LUMO energies of all compounds and electronic parameters such as ionization potential (IP), electron affinity (EA), electronegativity (X), chemical hardness (η), chemical softness (S), chemical potential (μ) and electrophilic index (ω) obtained from these energies were calculated. The HOMO-LUMO diagram, molecular electrostatic potential analysis, and optimized molecular structures of **C1**, **C5**, and **C6** were also presented visually.

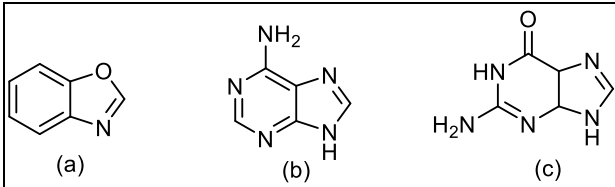
**Keywords:** Benzoxazole, Synthesis, Antimicrobial activity, DFT, Molecular docking.

\* Corresponding Author: [eczacimeryem@gmail.com](mailto:eczacimeryem@gmail.com)

## 1. Giriş

Bakteri ve mantarların neden olduğu bulaşıcı hastalıklar halen halk sağlığına yönelik en önemli tehditlerden birisidir. Özellikle metisiline dirençli *Staphylococcus aureus* (MRSA), vankomisine dirençli *Enterococcus faecalis* (VREF) ve flukonazole dirençli *C. albicans* gibi yaygın ilaç direnci çağımızın en ciddi sorunları arasında yer almaktadır (Aslam ve ark., 2018; De Oliveira ve ark., 2020; Ventola, 2015). Klinikte kullanılan birçok antimikrobiyal ilaç olmasına rağmen mikroorganizmalar bu ilaçlara karşı hızla direnç geliştirdiği için kısa sürede daha az etkili hale gelmektedir. Bugün; ilaca bağlı veya mikroorganizma kaynaklı direnç gelişmeleri, uygun olmayan tedavi yöntemleri, yalnızca semptomları ortadan kaldırmak için yazılan reçeteler ve hastaların tedaviyi yarıda bırakması bulaşıcı hastalıklarla mücadeleyi zorlaştırmaktadır. Antimikrobiyallere direnç; daha yüksek tıbbi maliyetlere, tedavi başarısızlığına, artan mortalite ve morbidite oranına, hastanede daha uzun kalış süresine ve artan sakatlığa yol açmaktadır. Organ nakli, kanser tedavisi, diyabet ve cerrahi operasyonlar gibi birçok tıbbi işlem, enfeksiyonların önlenmesi ve tedavisi için etkili antimikrobiyaller olmadan çok daha riskli hale gelmektedir (Abushaheen ve ark., 2020; Christaki ve ark., 2020; French, 2010). Bu durum, yeni ilaç geliştirme çalışmalarının ne kadar önemli olduğunu ortaya çıkarmakta ve araştırmacıları daha etkili antimikrobiyal ilaçlar tasarlamaya ve sentezlemeye yönlendirmektedir.

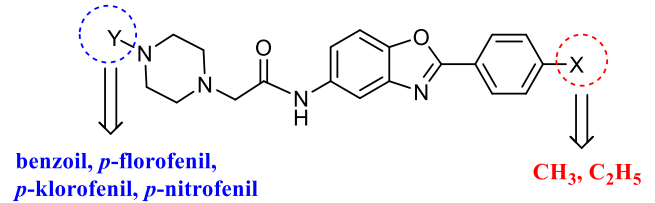
Benzoksazol halka sisteminin açık kimyasal yapısı, nükleik asit yapısındaki adenin ve guanin bazlarının yapısal izosterleridir (Şekil 1) ve kemoterapötik aktivitelerini nükleik asit sentezini inhibe ederek gösterdiği düşünülmektedir (Oehlers ve ark., 2004). Bu yaklaşım, benzoksazol türevlerine olan ilgiyi daha da artırmaktadır.



Şekil 1. Benzoksazol (a), adenin (b) ve guanin (c) halkaları

Son çalışmalarda benzoksazol halkasına sahip birçok doğal ve sentetik ürün, antimikrobiyal (Taşcı ve ark., 2018), antiparkinson (Benazzouz ve ark., 1995), antihipertansif (Wu ve ark., 2018), antikanser (Osmaniye ve ark., 2021), antioksidan (Kashid ve ark., 2019), antikonvülsan (Song ve ark., 2019) ve anti-alzheimer (Temiz-Arpacı ve ark., 2016) gibi çok çeşitli farmakolojik özellikler sergilemektedir. Daha önceki yapılan çalışmalarda, benzoksazol halkasının 2. pozisyonda *p*-(süstitüefenil/benzil) ve 5. pozisyonda amid yan zincirine bağlı 6 üyeli halkalar sentezlenmiş ve türevler arasında MRSA'ya karşı gentamisin kadar etkili bileşikler gözlenmiş; ayrıca MRSA'ya karşı yapılan kantitatif yapı-etki çalışması ile de yapıda piperazin grubu varlığının aktiviteyi olumlu etkilediği belirlenmiştir (Arisoy, M. ve ark., 2008; Temiz-Arpacı ve ark., 2005). Bu verilerden hareketle bu çalışma kapsamında genel yapısı 2-(*p*-metil/etilfenil)-5-(2-(4-süstitüepiperazin-1-il)asetamido)benzoksazol olan bazı yeni bileşikler sentezlendi

(Şekil 2), yapıları <sup>1</sup>H-NMR, <sup>13</sup>C-NMR spektroskopisi ve HRMS ile aydınlatıldı. Mikrodilüsyon tekniği ile çeşitli Gram (+), Gram (-) bakteri, mantar ve bunların izolatlarına karşı antimikrobiyal aktiviteleri incelendi ve yapı-aktivite ilişkileri değerlendirildi. Ayrıca, bileşiklerin moleküler reaktivite analizi (HOMO-LUMO) ve bu analizden elde edilen diğer elektronik parametreler, moleküler elektrostatik potansiyel (MEP) analizi ve geometri optimizasyonu DFT/B3LYP teorisi ve 6-311G+ (d,p) baz seti ile hesaplandı, ve sonuçlar görüntüledi.



Şekil 2. Sentezlenen yeni benzoksazol türevleri

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Kimya

Kimyasallar ve çözücüler Sigma Aldrich, Merck, Riedel de Haen ve Fluka'dan satın alındı ve daha fazla saflaştırılmadan kullanıldı. Erime noktaları Electrothermal 9100 (Varian, Palo Alto, CA) cihazı ile belirlendi ve sonuçlar düzeltilmeden verildi. <sup>1</sup>H-NMR ve <sup>13</sup>C NMR spektrumları, Varian Mercury 400 MHz Yüksek Performanslı Dijital FT-NMR spektrometresi (Palo Alto, CA, ABD) ile alındı ve çözücü olarak dimetilsülfoksit-*d*<sub>6</sub> (DMSO-*d*<sub>6</sub>) kullanıldı. M+1 pikleri, Shimadzu LC/MS ITTOF sistemi (Shimadzu, Tokyo, Japonya) ile belirlendi.

#### 2.1.1. 2-(*p*-Metil/Etilfenil)-5-(2-(4-süstitüepiperazin-1-il)asetamido)benzoksazol Türevlerinin Sentezi

İlk basamakta, 1 mmol 2,4-diaminofenol dihidroklorür ve 1 mmol *p*-metil/etil benzoik asit, polifosforik asit (PPA) katalizörülüğünde 160°C-190°C'de yaklaşık 3 saat karıştırıldı. Reaksiyonun sonunda, reaksiyon içeriği buz üzerine döküldü ve %10'luk NaOH çözeltisi, ortam alkali olana kadar ilave edildi. Çökelti süzülde, etanol-su karışımından kristallendirildi ve kurutuldu. 2. Basamakta, 1 mmol 2-(*p*-metil/etilfenil)-5-amino benzoksazol (**A1**, **A2**) 20 ml dietil eter içinde çözüldü. 2 mmol NaHCO<sub>3</sub> 10 ml su içinde çözüldü. Eter ve su fazı, buz banyosu içinde manyetik karıştırıcıda karıştırılırken, 1 mmol 2-kloroasetilklorür yavaş yavaş ilave edildi ve karıştırmaya gece boyunca devam edildi. Reaksiyonun sonunda oluşan çökelek süzülde, etanol-su karışımından kristallendirildi ve kurutuldu. 3. Basamakta, 1 mmol 2-(*p*-metil/etilfenil)-5-(2-kloroasetamido)benzoksazol türevi bileşikler (**B1**, **B2**), 1 mmol piperazin türevleri ile trietilamin (TEA) ve dimetilformamid (DMF) katalizörülüğünde oda sıcaklığında 24 saat reaksiyona bırakıldı. Reaksiyonun sonunda ortama su ilave edildi, ürün çöktüldü, daha sonra etanol-su karışımından kristallendirildi veya kolon kromatografisi metodu ile saflaştırıldı (mobil faz: etil asetat-*n*-heksan (1:1) ve sonuç ürünler elde edildi (**C1**-**C6**).

**2-(*p*-Metilfenil)-5-(2-(4-(*p*-nitrofenilpiperazin-1-il)asetamido) benzoksazol (C1)**

Verim %75, erime noktası: 200-202<sup>o</sup>C. <sup>1</sup>H-NMR δ ppm (400 MHz, DMSO-d<sub>6</sub>): 9.99 (s, 1H, -NH), 8.17 (d, *J* = 1.9 Hz, 1H, Ar-H), 8.06 (d, *J* = 2.1 Hz, 2H, Ar-H), 7.71 (d, *J* = 8.7 Hz, 1H, Ar-H), 7.61 (s, 1H, Ar-H), 7.42 (d, *J* = 8.0 Hz, 3H, Ar-H), 7.04 (d, *J* = 9.0 Hz, 3H, Ar-H), 3.55 (d, *J* = 9.6 Hz, 4H, (2)-CH<sub>2</sub>), 3.25 (s, 2H, -CH<sub>2</sub>), 2.69 (d, *J* = 5.0 Hz, 4H, (2)-CH<sub>2</sub>), 2.41 (s, 3H, -CH<sub>3</sub>). <sup>13</sup>C-NMR δ ppm (100 MHz, DMSO-d<sub>6</sub>): 168.61, 163.58, 155.19, 146.84, 142.64, 142.14, 137.29, 136.26, 130.38, 127.69, 126.21, 124.13, 118.23, 113.11, 111.01, 110.74, 61.83, 52.67, 46.72, 21.63. HRMS (m/z): [M+H]<sup>+</sup> C<sub>26</sub>H<sub>25</sub>N<sub>5</sub>O<sub>4</sub> için hesaplanan: 472.19065; bulunan: 472.19945.

**2-(*p*-Metilfenil)-5-(2-(4-benzoilpiperazin-1-il)asetamido) benzoksazol (C2)**

Verim %50, erime noktası: 175-177<sup>o</sup>C. <sup>1</sup>H-NMR δ ppm (400 MHz, DMSO-d<sub>6</sub>): 9.97 (s, 1H, -NH), 8.15 (d, *J* = 2.0 Hz, 1H, Ar-H), 8.07 (d, *J* = 8.0 Hz, 3H, Ar-H), 7.70 (d, *J* = 8.7 Hz, 1H, Ar-H), 7.58 (dd, *J* = 8.9, 2.1 Hz, 1H, Ar-H), 7.47 – 7.42 (m, 6H, Ar-H), 3.72 (s, 3H, -CH<sub>3</sub>), 3.41 (s, 4H, (2)-CH<sub>2</sub>), 3.22 (s, 2H, -CH<sub>2</sub>), 2.61 (d, *J* = 7.6 Hz, 1H, -CH), 2.40 (s, 3H, -CH<sub>3</sub>). <sup>13</sup>C-NMR δ ppm (100 MHz, DMSO-d<sub>6</sub>): 169.43, 168.58, 163.56, 146.83, 142.59, 142.14, 136.36, 136.24, 130.34, 129.96, 128.89, 127.67, 127.36, 124.13, 118.24, 110.96, 110.77, 61.84, 53.00, 47.53, 21.62. HRMS (m/z): [M+H]<sup>+</sup> için hesaplanan: C<sub>27</sub>H<sub>26</sub>N<sub>4</sub>O<sub>3</sub>: 455.20049; bulunan: 455.21061.

**2-(*p*-Etilfenil)-5-(2-(4-benzoilpiperazin-1-il)asetamido) benzoksazol (C3)**

Verim %45, erime noktası: 190-192<sup>o</sup>C. <sup>1</sup>H-NMR δ ppm (400 MHz, DMSO-d<sub>6</sub>): 9.97 (s, 1H, -NH), 8.15 (d, *J* = 2.0 Hz, 1H, Ar-H), 8.10 (d, *J* = 6.5 Hz, 1H, Ar-H), 7.74 – 7.67 (m, 2H, Ar-H), 7.63 – 7.54 (m, 1H, Ar-H), 7.45 (d, *J* = 6.4 Hz, 7H, Ar-H), 3.72 (s, 3H, -CH<sub>3</sub>), 3.22 (s, 2H, -CH<sub>2</sub>), 3.14 – 2.41 (m, 6H, (3)-CH<sub>2</sub>), 1.22 (t, *J* = 7.5 Hz, 4H, (2)-CH<sub>2</sub>). <sup>13</sup>C-NMR δ ppm (100 MHz, DMSO-d<sub>6</sub>): 169.43, 168.59, 163.56, 148.68, 146.86, 142.15, 136.37, 136.25, 129.97, 129.18, 128.90, 127.78, 127.36, 124.38, 118.25, 110.98, 110.79, 61.84, 53.35, 40.59, 28.63, 15.63. HRMS (m/z): [M+H]<sup>+</sup> C<sub>28</sub>H<sub>28</sub>N<sub>4</sub>O<sub>3</sub> için hesaplanan: 469.21614; bulunan: 469.22469.

**2-(*p*-Etilfenil)-5-(2-(4-(*p*-nitrofenilpiperazin-1-il)asetamido) benzoksazol (C4)**

Verim %77, erime noktası: 195-197<sup>o</sup>C. <sup>1</sup>H-NMR δ ppm (400 MHz, DMSO-d<sub>6</sub>): 10.00 (s, 1H, -NH), 8.17 (s, 1H, Ar-H), 8.14 – 8.03 (m, 4H, Ar-H), 7.72 (d, *J* = 8.7 Hz, 1H, Ar-H), 7.61 (s, 1H, Ar-H), 7.46 (t, *J* = 6.0 Hz, 2H, Ar-H), 7.05 (d, *J* = 9.0 Hz, 2H, Ar-H), 3.57 – 3.52 (m, 3H, -CH<sub>3</sub>), 3.25 (s, 2H, -CH<sub>2</sub>), 2.74 (s, 1H, -CH), 2.70 (t, *J* = 7.2 Hz, 6H, (3)-CH<sub>2</sub>), 1.23 (t, *J* = 7.5 Hz, 3H, -CH<sub>2</sub> ve -CH). <sup>13</sup>C-NMR δ ppm (100 MHz, DMSO-d<sub>6</sub>): 168.59, 163.58, 155.17, 148.69, 146.86, 142.16, 137.30, 136.26, 129.18, 127.79, 126.20, 124.37, 118.23, 113.10, 111.00, 110.77, 61.84, 52.67, 46.73, 40.60, 40.39, 40.18, 39.97, 39.76, 39.55, 39.34, 28.63, 15.63. HRMS (m/z): [M+H]<sup>+</sup> C<sub>27</sub>H<sub>27</sub>N<sub>5</sub>O<sub>4</sub> için hesaplanan: 486.20630; bulunan: 486.21535.

**2-(*p*-Etilfenil)-5-(2-(4-(*p*-klorofenilpiperazin-1-il)asetamido) benzoksazol (C5)**

e-ISSN: 2148-2683

Verim %70, erime noktası: 200-202<sup>o</sup>C. <sup>1</sup>H-NMR δ ppm (400 MHz, DMSO-d<sub>6</sub>): 9.94 (s, 1H, -NH), 8.19 – 8.08 (m, 3H, Ar-H), 7.71 (d, *J* = 8.7 Hz, 1H, Ar-H), 7.60 (d, *J* = 9.0 Hz, 1H, Ar-H), 7.45 (d, *J* = 8.0 Hz, 2H, Ar-H), 7.23 (d, *J* = 8.5 Hz, 2H, Ar-H), 6.95 (d, *J* = 8.6 Hz, 2H, Ar-H), 3.22 (d, *J* = 7.7 Hz, 6H, (3)-CH<sub>2</sub>), 2.69 (q, *J* = 6.6, 4.8 Hz, 6H, (3)-CH<sub>2</sub>), 1.23 (t, *J* = 7.6 Hz, 3H, -CH<sub>3</sub>). <sup>13</sup>C-NMR δ ppm (100 MHz, DMSO-d<sub>6</sub>): 168.66, 163.56, 150.28, 148.69, 146.85, 142.16, 136.28, 129.20, 129.07, 127.79, 124.38, 122.73, 118.21, 117.31, 111.00, 110.73, 62.12, 53.01, 48.36, 28.63, 15.65. HRMS (m/z): [M+H]<sup>+</sup> C<sub>27</sub>H<sub>27</sub>ClN<sub>4</sub>O<sub>2</sub> için hesaplanan: 475.18225; bulunan: 475.19141

**2-(*p*-Etilfenil)-5-(2-(4-(*p*-florofenilpiperazin-1-il)asetamido) benzoksazol (C6)**

Verim %65, erime noktası: 192-194<sup>o</sup>C. <sup>1</sup>H-NMR δ ppm (400 MHz, DMSO-d<sub>6</sub>): 9.96 (s, 1H, -NH), 8.17 (d, *J* = 2.0 Hz, 1H, Ar-H), 8.11 – 8.08 (m, 2H, Ar-H), 7.71 (d, *J* = 8.8 Hz, 1H, Ar-H), 7.60 (dd, *J* = 8.9, 2.1 Hz, 1H, Ar-H), 7.45 (d, *J* = 8.3 Hz, 2H, Ar-H), 7.05 (dd, *J* = 9.7, 8.0 Hz, 2H, Ar-H), 6.99 – 6.93 (m, 2H, Ar-H), 3.23 (s, 2H, -CH<sub>2</sub>), 3.16 (t, *J* = 4.9 Hz, 4H, (2)-CH<sub>2</sub>), 2.70 (t, *J* = 5.8 Hz, 6H, (3)-CH<sub>2</sub>), 1.22 (t, *J* = 7.6 Hz, 3H, -CH<sub>3</sub>). <sup>13</sup>C-NMR δ ppm (100 MHz, DMSO-d<sub>6</sub>): 168.69, 163.56, 148.70, 148.40, 146.84, 142.16, 136.29, 129.21, 127.79, 124.38, 118.20, 117.63, 117.56, 115.82, 115.61, 111.01, 110.71, 62.16, 53.18, 49.32, 28.63, 15.65. HRMS (m/z): [M+H]<sup>+</sup> C<sub>27</sub>H<sub>27</sub>FN<sub>4</sub>O<sub>2</sub> için hesaplanan: 459.21180; bulunan: 459.22019

**2.2. Antimikrobiyal Aktivite Çalışmaları**

*Escherichia coli* ATCC 25922, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853, *Staphylococcus aureus* ATCC 29213, *Enterococcus faecalis* ATCC 29212 ve *Candida albicans* ATCC 1023 standart suşları ve klinik izolatları Trakya Üniversitesi Sağlık Araştırma ve Uygulama Merkezi'nden tedarik edildi. Test bileşiklerinin stok çözeltileri DMSO (Merck) içinde hazırlandı. Ampisilin fosfat tampon solüsyonunda hazırlandı ve diğer antibiyotik solüsyonları CLSI M100-S28 ve M27-A3 kılavuzlarına göre steril damıtılmış suda hazırlandı (CLSI, 2008; CLSI, 2018). Mueller Hinton Agar (MHA) (Merck), Mueller Hinton Broth (MHB) (Merck), Sabouraud Dekstroz Agar (SDA) (Merck), Sabouraud Liquid Medium (SLM) (Merck) ve L- ile RPMI-1640 besiyeri (Sigma) 3-[*N*-morfolino]-propansülfonik asit (MOPS) (Sigma) ile glutamin tamponlu pH 7, mikrobiyal kültürler için kullanıldı. Bakteriyel izolatlar, Mueller Hinton Agar (MHA) plaklarında alt kültürlendi ve gece boyunca 37<sup>o</sup>C'de inkübe edildi ve *C. albicans*, Sabouraud Dextrose Agar (SDA) plaklarda 24-48 saat 35<sup>o</sup>C'de alt kültürlendi. Saf koloniler sırasıyla bakteri ve mantarlar için MHB ve SLM'ye aktarıldı. Gece boyunca uygun koşullarda inkübe edildi. İnkübasyondan sonra, aşılama için kullanılan bakteriyel süspansiyonlar, MacFarland 0.5 yoğunlukta (10<sup>8</sup> CFU/mL) taze kültürler seyreltilerek 10<sup>5</sup> CFU/mL'de hazırlandı. Mantar süspansiyonları da McFarland 0.5 yoğunluğuna göre hazırlandı ve 1:50 seyreltme ve ardından 1:20 oranında stok süspansiyonu (2.5x10<sup>3</sup> CFU/mL) ile bir çalışma süspansiyonu yapıldı.

Duyarlılık testi, bakteriler için MHB ile ve mantarlar için 3-[*N*-morfolino]-propansülfonik asit (MOPS) ile L-glutamin tamponlu pH 7 ile RPMI-1640 ortamı ile gerçekleştirilmiştir. Yeni sentezlenen bileşiklerin ve standart ilaçların çözeltisi 512, 256, 128, 64, 32, 16, 8, 4 µg/mL'de hazırlandı ve her antimikrobiyal ajan için farklı stok konsantrasyonları, sırasıyla stok konsantrasyonları birçok kanallı pipetli mikrodilüsyon tepsi.

Seyreltmeden sonra, mikrodilüsyon tepsilerinin her bir oyuğuna 10 uL bakteri veya mantar aşısı eklenmiştir. Tepsiler bakteriler için 37°C'de ve mantarlar için 35°C'de nemli bir odada inkübe edilmiş ve 24 saatlik inkübasyondan sonra MİK uç noktaları okunmuştur. Tüm organizmalar, deneylerin her seferinde üç kez test edildi.

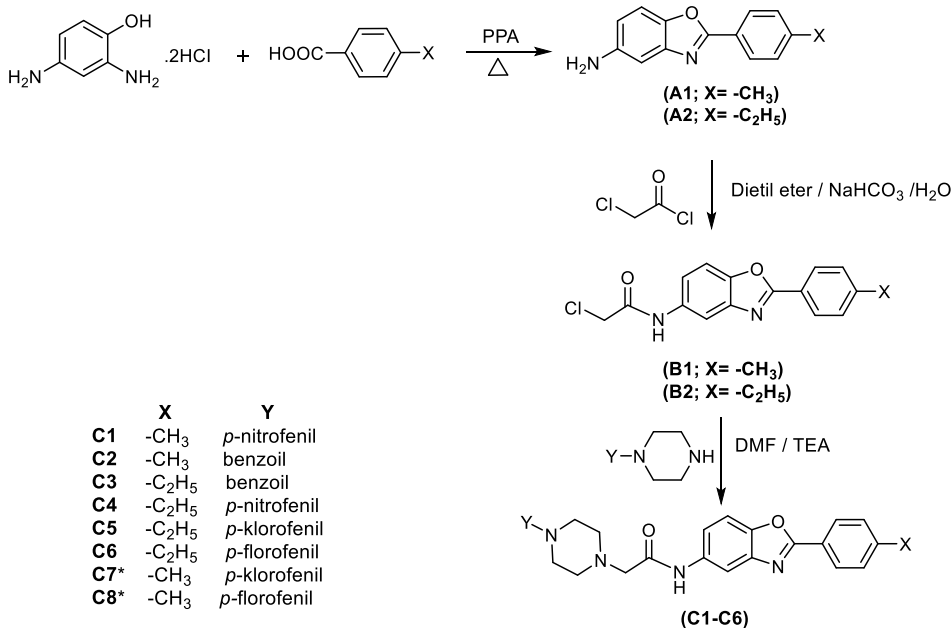
### 2.3. Moleküler Doking

Moleküler doking çalışması Maestro 11.5 programı kullanılarak gerçekleştirildi. Tetrazol bazlı mantar önleyici ilaç adayı VT1161 (PDB ID: 5TZ1, 2.00 Å çözünürlükte) ile kompleks halindeki *C. albicans* sterol 14-alfa demetilazın (CYP51) kristal yapısı, protein veri bankasından alınmıştır (<https://www.rcsb.org/>). Protein hazırlama, Protein Preparation Wizard kullanılarak yapıldı, hazırlama sırasında proteindeki su molekülleri silindi ve hidrojen atomları eklendi. Bileşiğin enerjisi, OPLS3 kuvvet alanı kullanılarak en aza indirildi. Ligandlar, OPLS3 kuvvet alanı kullanılarak LigPrep ile hazırlandı. Reseptör Grid Oluşturma programı ligandın herhangi bir atomuna tıklanarak çalıştırıldı ve varsayılan grid kutusu hazırlandı. Ligand, Standard Precision (SP) kullanılarak proteinden yapılmış ızgara kutusuna bağlandı. Sonuçlar Docking skoru, Glide gscore ve Glide emodel değerleri olarak sunuldu.

### 2.4. DFT/B3LYP Hesaplamaları

Bileşiklerin tüm teorik hesaplamaları; DFT/B3LYP yöntemi, 6-311G+ (d,p) baz seti ve Gaussian 09 paket programı kullanılarak yapıldı (Frisch, 2019), ve bileşiklerin HOMO-LUMO enerjileri ve bu enerjilerden elde edilen diğer elektronik parametreler (iyonlaşma potansiyeli (İP), elektron afinitesi (EA), elektronegatiflik (X), kimyasal sertlik ( $\eta$ ), kimyasal yumuşaklık (S), kimyasal potansiyel ( $\mu$ ) ve elektrofilik indeks ( $\omega$ )), MEP analizi ve geometri optimizasyonu sonuçları elde edildi. Sonuçlar GaussView 6.0.16 programı kullanılarak görselleştirildi (GaussView, 2016).

### 2.5. In silico ADME Tahmini



Şekil 3. C1-C6'nın genel sentez yöntemi (\* : Arisoy ve ark., 2014)

Molinspirasyon yazılım programı kullanılarak sentezlenen bileşiklerin log P, TPSA, nrotb, moleküler ağırlık ve hidrojen bağı verici-reseptör sayısı gibi çeşitli farmakokinetik parametre değerleri hesaplandı (Cheminformatics, 2018).

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

### 3.1. Kimya

Bu çalışmada, 2-(*p*-Metil/etilfenil)-5-(2-(4-sübstitüepiperazin-1-il)asetamido)benzoksazol serisi Şekil 3'te gösterildiği gibi literatürde verilen yöntemler kullanılarak sentezlendi (Taşcı ve ark., 2018; Erol ve ark., 2020; Erol ve ark., 2021). Sonuç ürünlerin genel yapısı incelendiğinde, benzoksazol halkasının 2. pozisyonunda *p*-metil/etilfenil grubu ve 5. pozisyonundaki asetamido grubuna bağlı *p*-sübstitüe piperazin türevleri vardır. Bu türevlerin sentezinde 2,4-diaminofenol dihidroklorür, PPA katalizörü altında uygun sıcaklık ve zamanda *p*-metil/etil benzoik asitler ile reaksiyona sokuldu (A1 ve A2). Elde edilen ürünler daha sonra benzoksazol yapılarının 5. pozisyonunun amidifikasyonlarını gerçekleştirmek için kloroasetil klorür ile muamele edildi (B1 ve B2). Son aşamada, B1 ve B2'nin *p*-sübstitüe piperazin türevleri ile reaksiyonu sonucunda hedef bileşikler elde edildi. Sentez işlemleri sırasında reaksiyon ortamı İnce Tabaka Kromatografisi (İTK) ile kontrol edildi ve bileşikler, sentez yöntemlerinde belirtildiği gibi saflaştırıldı (C1-C6). Sentezlenen tüm bileşikler orjinaldir. Benzoksazol halkasının 2. konumunda *p*-metilfenil ve 5. konumunda amid yapısına bağlı *p*-florofenil piperazin ve *p*-klorofenil piperazin taşıyan türevler (C6 ve C7) orjinal olmadığı için sentezlenen türevler arasında bulunmamaktadır. Sonuç bileşiklerin yapıları <sup>1</sup>H-NMR, <sup>13</sup>C-NMR spektroskopisi ve HRMS ile teyit edildi.

Nihai bileşiklerin spektroskopik verilerine göre, <sup>1</sup>H-NMR spektrumlarında, NH protonlarının sinyali tekli yayvan pikler olarak 9.94-10.00 ppm'de görüldü. Ayrıca aromatik protonlar 6.93-8.19 ppm ve alifatik protonlar 1.22-3.72 ppm arasındaydı. Ayrıca bileşiklerin <sup>13</sup>C-NMR spektrumları yapılarıyla uyumlu ve bileşiklerin HRMS'si formülleriyle uyumlu olarak bir [M+H]<sup>+</sup> piki gösterdi.

### 3.2. Antimikrobiyal Değerlendirme

Bileşiklerin ve referans ilaçların antimikrobiyal aktivite sonuçları Tablo 1'de verilmiştir. Orjinal olmayan iki bileşiğin antimikrobiyal aktiviteleri literatürde daha önce verilmiştir (Arisoy ve ark., 2014). Sentezlenen bileşiklerin ve referans ilaçların MİK değerleri incelendiği zaman referans ilaçların genel olarak daha iyi antimikrobiyal aktivite gösterdiği gözlenmiştir. Sentezlenen benzoksazol türevlerinin *S. aureus*'a ve MRSA'ya karşı aktivitesi referans ilaçlara kıyasla etkisiz olarak gözlenmiştir. *E. faecalis*'e karşı aktivitesi incelendiğinde en iyi

aktiviteyi 64 µg/mL ile **C1**, **C4** ve **C5** göstermiş olsa bile, yine de referans bileşiklerin sentezlenen benzoksazol türevlerinden daha etkili olduğu gözlenmiştir. Genel olarak bileşikler; *E. coli*, *P. aeruginosa* ve izolatlarına karşı zayıf antimikrobiyal etkiye sahip olduğu gözlemlenmiştir. Bileşiklerin *C. albicans*'a karşı antifungal aktiviteleri 64-128 µg/mL arasında değişirken; *C. albicans* izolatına karşı, **C1**, **C5** ve **C6**, MİK: 16 µg/mL ile flukonazole yakın bir aktivite göstermiştir. Benzoksazol halkasının 2. ve 5. konumunda yapılan değişiklikler antimikrobiyal aktivitede anlamlı değişikliklere neden olmamıştır.

Tablo 1. C1-C6 ve referans ilaçların gözlenen in vitro antimikrobiyal MİK değerleri (µg/mL)

Bileşik No	Gram-pozitif bakteri				Gram-negatif bakteri				Mantar	
	S.a	S.a.*	E.f.	E.f*	E.c.	E.c.*	P.a.	P.a.*	C.a.	C.a.*
<b>C1</b>	256	256	64	128	256	256	128	128	128	16
<b>C2</b>	256	256	128	256	256	256	128	128	128	128
<b>C3</b>	256	256	128	256	256	256	128	128	128	128
<b>C4</b>	256	256	64	256	128	256	128	128	64	128
<b>C5</b>	256	256	64	256	256	256	128	128	128	16
<b>C6</b>	256	256	128	256	256	256	128	128	128	16
<b>Ampisilin</b>	2	>16	2	>16	8	>16	-	-	-	-
<b>Vancomisin</b>	2	2	1	8	-	-	-	-	-	-
<b>Gentamisin</b>	0.25	>16	-	-	0.5	>8	0.5	>8	-	-
<b>Siprofloksasin</b>	0.5	>16	2	>4	0.0156	>2	0.125	>2	-	-
<b>Sefotaksim</b>	1	>16	-	-	0.125	>8	8	-	-	-
<b>Flukonazol</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	0.125	>4
<b>Amfoterisin B</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	0.5	0.5

S.a.: *Staphylococcus aureus* ATCC 29213; S.a.\*: *S. aureus* izolatı (MRSA); E.f.: *Enterococcus faecalis* ATCC 29212; E.f\*: *E. faecalis* izolatı (Vankomisine dirençli -VREF); E.c.: *E. coli* ATCC 25922; E.c.\*: *E. coli* izolatı (geniş spektrumlu β-laktamaz enzimi içerir); P.a.: *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853; P.a.\*: *P. aeruginosa* izolatı (gentamisin dirençli); C.a.: *Candida albicans* ATCC 10231; C.a.\*: *Candida albicans* izolatı. *E. coli* izolatı siprofloksasine dirençlidir. Geniş spektrumlu β-Laktamaz Enzimi (ESBL) içerir ve oksiminobetalaktam antibiyotiklere dirençlidir. *P. aeruginosa* izolatı siprofloksasin ve ampisiline dirençlidir. *E. faecalis* izolatı vankomisine (VREF) dirençlidir. *S. aureus* izolatı MRSA'dır (tüm β-laktam antibiyotiklere dirençlidir). - : Belirlenmemiştir.

### 3.3. Moleküler Doking Çalışması

Sentezlenen bazı türevler, *C. albicans* izolatına karşı referans ilaçlara yakın aktivite sergilemiştir. *C. albicans*'taki direnç mekanizması, lanosterol demetilaz (Erg11p) ve ergosterol biyosentezindeki bir değişiklik olabilir (Kontoyiannis ve Lewis, 2002). Bu yüzden sterol 14α-demetilaz (CYP51) proteini üzerine (PDB: 5TZ1) odaklandık. Tüm bileşiklerin hesaplanan Doking skoru, Glide gscore ve Glide emodel skorları Tablo 2'de verilmiştir. Buna göre, elde edilen skorlar ile antimikrobiyal aktivite arasında orta derecede bir ilişki bulunmuştur.

Antimikrobiyal aktivite sonuçlarına göre *C. albicans* izolatına karşı en aktif bileşiklerden biri olan **C5**'in 2D ve 3D etkileşimleri gösterildi. **C5** aynı zamanda en düşük doking skoruna sahipti. Bu bölgede benzoksazol halkasının 5. pozisyonundaki asetamido grubunun azotu, MET508 ile 2.30 Å uzunluğunda hidrojen bağı oluştururken; ayrıca TYR118,

HEM601, LEU121, PHE228, PRO230, ILE379, VAL509, TYR05, GLY65 ile hidrofobik etkileşimler oluşturmuştur. Bileşiklerin CYP51 (5TZ1) aktif bölgesindeki aminoasit etkileşimleri Tablo 3'de ve *C. albicans* izolatına karşı en aktif olan **C1**, **C5** ve **C6**'nın 2D ve 3D görsel diyagramı Şekil 4'te verilmiştir.

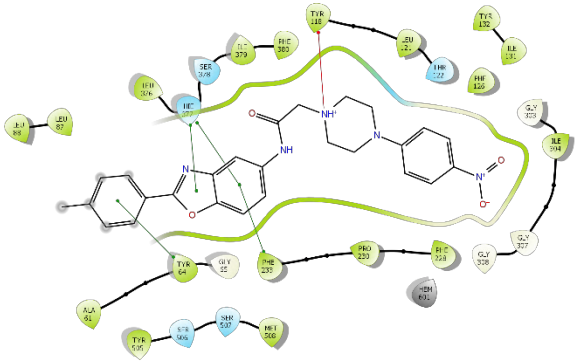
Tablo 2. Bileşiklerin Hesaplanan Doking skoru, Glide gscore ve Glide emodel değerleri

Bileşik	Doking skor	Glide GScore	Glide emodel
<b>C1</b>	-7.709	-7.920	-85.082
<b>C2</b>	-8.839	-9.138	-85.720
<b>C3</b>	-9.051	-9.600	-95.894
<b>C4</b>	-7.932	-8.645	-88.407
<b>C5</b>	<b>-9.113</b>	<b>-9.247</b>	<b>-89.701</b>
<b>C6</b>	-8.745	-8.869	-89.417

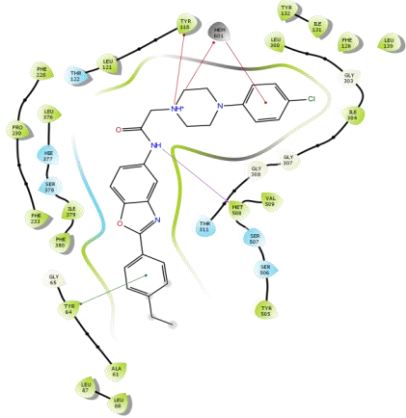
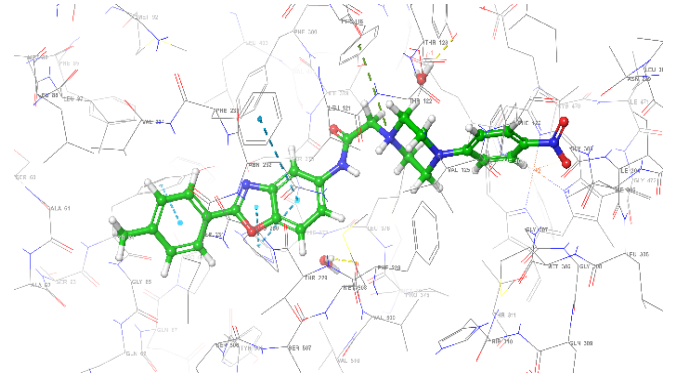
Tablo 3. Sentezlenen bileşikler ile CYP51 proteini arasındaki protein-ligand etkileşimleri (PDB ID: 5TZ1)

Bileşik	Protein-ligand etkileşimleri
C1	TYR64, TYR118, PHE233, HIE377
C2	ALA61, TYR64, LEU87, <b>TYR132</b> , PRO230, MET508, HEM601
C3	ALA61, LEU87, <b>TYR132</b> , PRO230, PHE380, MET508, HEM601
C4	TYR118, ILE131, ILE304, PRO230, LEU376, HIS377, HEM601
C5	TYR64, TYR118, HEM601, <b>MET508</b>
C6	TYR64, TYR118, PHE233, <b>MET508</b>

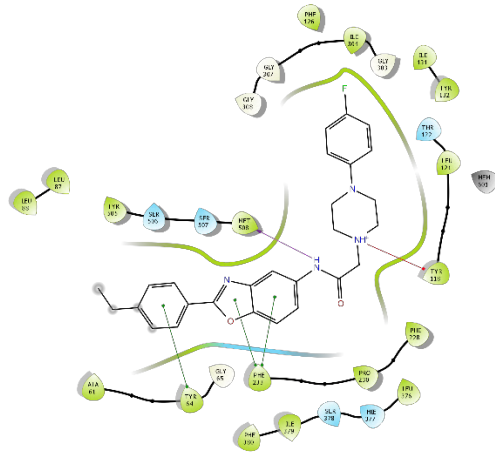
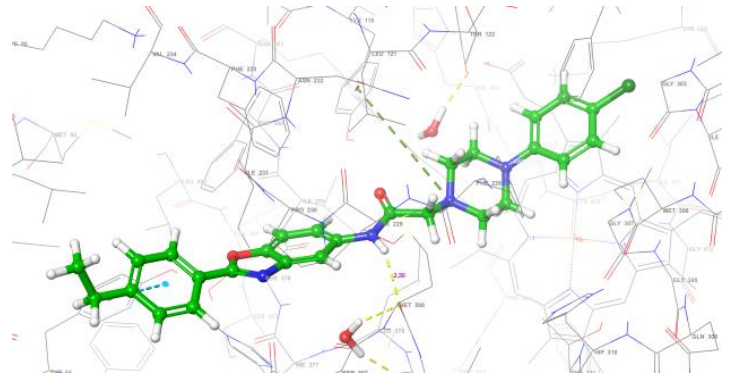
\*Koyu renk ile belirtilenler hidrojen bağıdır.



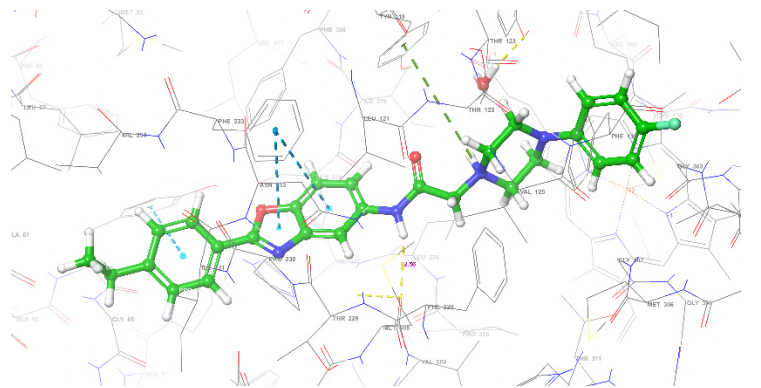
(C1)



(C5)



(C6)



Şekil 4. CYP51 (5TZ1) aktif site ile C1, C5 ve C6 arasındaki 2D ve 3D etkileşim

### 3.4. *In silico* ADME Tahmini

ADME özelliklerin *in silico* tahmin edilmesi ilaç keşfi ve geliştirilmesinde önemli bir yer tutmaktadır. ADME özelliklerin erken değerlendirilmesi ilaç geliştirilmesinde en iyi adayların belirlenmesini ve başarılı olma ihtimali düşük olanların rededilmesini sağlayarak hem tarama hem de deneme zamanı ve harcamaları azaltmaktadır. *In silico* ADME modellemenin nihai amacı ilaç aday bileşiklerin insan vücudunda *in vivo* eğilim davranışını kinetik süreçleri birleştirerek tahmin etmektir

(Alqahtani, 2017). Tablo 4'de sentezlenen bileşiklerin lipofilik, tahmini hacim, topolojik polar yüzey alanı, yüzde absorpsiyon, moleküler ağırlık, dönebilir bağ sayısı, hidrojen bağı alıcı-verici sayısı verilmiştir. Aktif bir oral ilaç Lipinski kuralına tamamen uymalı veya bunlardan en fazla birini ihlal etmelidir (Lipinski, 2004). Absorpsiyon yüzdesi,  $\%A=109-(0.345 \times \text{TPYA})$  kullanılarak hesaplandı ve bileşikler, % 71.73-87.74 aralığında iyi bir absorpsiyon profili gösterdi (Kilic-Kurt ve ark., 2019). Bileşiklerin bazıları Lipinski'nin Log P'sine uymadı, ancak birden fazla ihlal de yapmadı. Sonuç olarak, sentezlenen bileşiklerin farmakokinetik özelliklerinin iyi olduğu söylenebilir.

Tablo 4. Bileşiklerin teorik ADME parametreleri

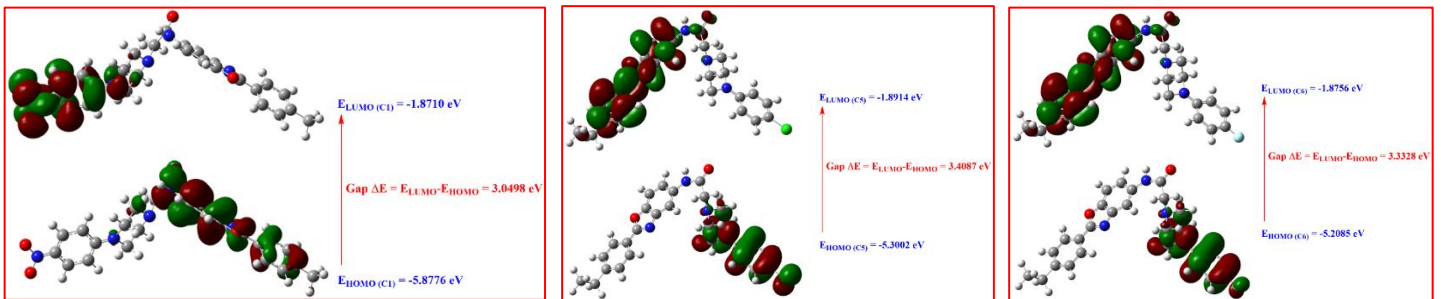
Bileşik No	Log P ≤5	TPYA -	%A -	MW ≤500	nON ≤10	nOHNH ≤5	İhlal Sayısı ≤1	nrotb -	Hacim -
C1	5.20	107.43	71.93	471.52	9	1	1	6	418.28
C2	4.10	78.68	81.85	454.53	7	1	0	5	413.93
C3	4.57	78.68	81.85	468.56	7	1	0	6	430.73
C4	5.66	107.43	71.93	485.54	9	1	1	7	435.08
C5	6.38	61.61	87.74	474.99	6	1	1	6	425.28
C6	5.87	61.61	87.74	458.54	6	1	1	6	416.68

MA: Molekül ağırlığı. TPYA: Topolojik polar yüzey alanı. % A: Yüzde absorpsiyon. nrotb: Dönebilir bağ sayısı. nON: Hidrojen alıcısı sayısı. nOHNH: Hidrojen vericilerinin sayısı. LogP: Log oktanol/su katsayısı

### 3.5. Sınır Moleküler Yörünge Analizi

Elektronların işgal ettiği en yüksek molekül orbitaline (HOMO) ve elektronların işgal etmediği en düşük molekül orbitaline (LUMO) sınır orbitalleri denir. HOMO, elektronlar tarafından doldurulan en dıştaki molekül yörüngesi olduğu için elektron donörü görevi görürken, LUMO elektronlarla doldurulmayan ilk boş molekül yörüngesi olduğu için elektron alıcısı olarak görev yapar. Bu nedenle, HOMO doğrudan molekülün iyonlaşma potansiyelini temsil ederken, LUMO molekülün elektron afinitesini temsil eder. HOMO ve LUMO arasındaki enerji boşluğu, molekülün kimyasal kararlılığının bir göstergesidir. Molekülün elektriksel yük akış özelliklerine karar vermek için kullanılan önemli bir parametredir. HOMO-LUMO arasındaki enerji farkı büyükse reaksiyon kabiliyetinin düşük olduğu yani molekülün kararlı olduğu söylenebilir. Bileşiklerin

kararlılık sırası C3>C2>C4>C5>C6>C1 olarak sıralanır. C4'ün elektron kabul etme eğilimi yüksek iken, C6 daha fazla elektron bağına sahiptir. Bir diğer önemli nokta ise biyolojik olarak aktif moleküllerin antimikrobiyal özelliklerini inceleyen çalışmalarda HOMO-LUMO sınır orbitallerinin önemli olmasıdır (Celik ve ark., 2020). Bir molekül Lewis asidi gibi davrandığında, gelen elektronlar LUMO'ya alınır. Düşük enerjiye sahip LUMO'lu moleküller, yüksek enerjili LUMO'lu moleküllerden daha fazla elektron kabul edebilir ve bu nedenle daha yüksek aktivite gösterir. En etkili antimikrobiyal bileşiklerden biri olan C1 en düşük LUMO değerine sahiptir. Bütün bileşiklerin HOMO-LUMO enerjileri ve bu enerjilerden elde edilen diğer elektronik özellikler (iyonizasyon potansiyeli (IP), elektron ilgisi (EA), elektronegatiflik (X), kimyasal sertlik ( $\eta$ ), kimyasal yumuşaklık (S), Kimyasal potansiyeli ( $\mu$ ) ve elektrofilik indeksi ( $\omega$ )) Tablo 5'te verilmiştir. Ayrıca C1, C5 ve C6'nın HOMO-LUMO enerjilerinin lokalize durumu Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 5. C1, C5 ve C6'nın HOMO-LUMO diyagramı



Tablo 5. C1-C6'nın hesaplanmış sınır moleküler yörünge parametreleri

Bileşik No	HOMO	LUMO	$\Delta E$	İP	EA	$\eta$	$\mu$	S	X	$\omega$
C1	-5.8776	-2.8278	3.0498	5.8776	2.8278	1.5249	-4.3527	0.3278	3.7576	3.1061
C2	-5.6441	-1.8710	3.7731	5.6441	1.8710	1.8865	-3.7576	0.2650	3.8818	1.8710
C3	-6.0371	-1.7265	4.3105	6.0371	1.7265	2.1552	-3.8818	0.2319	4.1340	1.7478
C4	-6.0082	-2.2599	3.7483	6.0082	2.2599	1.8741	-4.1340	0.2667	3.59585	2.2797
C5	-5.3002	-1.8914	3.4087	5.3002	1.8914	1.7043	-3.5958	0.2933	3.5421	1.8965
C6	-5.2085	-1.8756	3.3328	5.2085	1.8756	1.6664	-3.5421	0.3000	#BAŞV!	1.8822

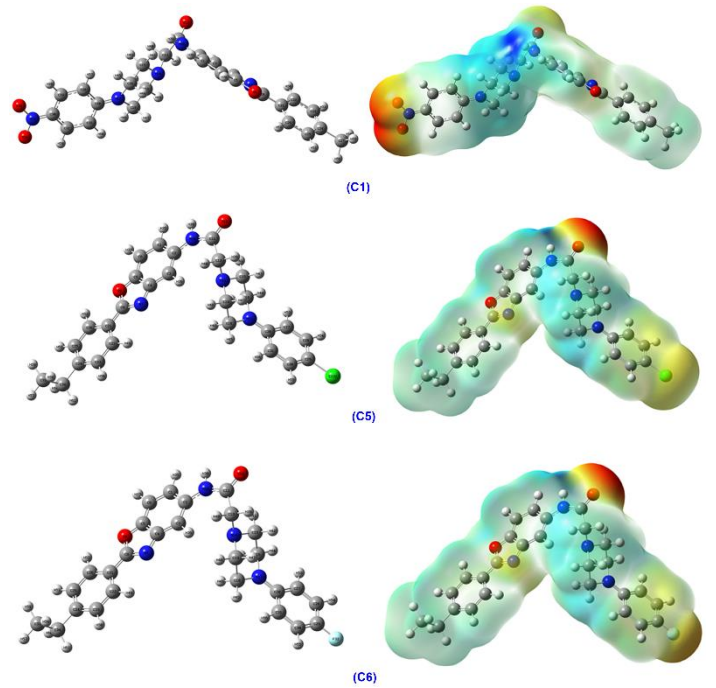
$\Delta E$ : LUMO-HOMO, İP (-HOMO): İyonlaşma potansiyeli, EA (-LUMO): Elektron ilgisi, X (İP+EA)/2: Elektronegatiflik,  $\eta$  (İP-EA)/2: Kimyasal sertlik, S (1/2 $\eta$ ): kimyasal yumuşaklık,  $\mu$  -(IP+EA)/2: Kimyasal potansiyel,  $\omega$  ( $\mu^2/2\eta$ ): Elektrofilik indeks.

### 3.6. MEP Analizi

MEP, molekül etkileşimlerini daha iyi anlamak için kullanılır ve bir molekülün çekirdeği ve elektron yük dağılımı veya toplam yük yoğunluğu hakkında önemli bilgiler sağlar. MEP; molekülün toplam yük yoğunluğu ile ilgili olduğundan, elektronegatiflik, kimyasal reaktivite, dipol moment ve kısmi yük gibi moleküler özellikler arasında ilişkiler kurar. Ayrıca; moleküllerin biyolojik özelliklerini belirlemek, hidrojen bağı etkileşimlerini belirlemek, moleküllerin kristal davranışlarını incelemek, moleküllerin korelasyonunu ve makroskopik özelliklerini geniş bir aralıkta analiz etmek ve moleküllerin elektrofilik ve nükleofilik görece reaktivite bölgelerini tahmin etmek için kullanılır. Potansiyel artışlar kırmızı<turuncu< sarı< yeşil< mavi olarak listelenir (Mary ve ark., 2020). Kırmızı renkli kısımlar negatif elektrostatik potansiyel bölgelerini, mavi renkli kısımlar ise pozitif elektrostatik potansiyel bölgelerini temsil eder. Daha az elektron içeren bölgeler sarı ile gösterilir, yeşil renkli kısımlar elektrostatik potansiyelin sıfır olduğu bölgelerdir. C1, C5 ve C6'nın MEP haritası incelendiğinde (Şekil 6); kırmızı bölgeler esas olarak oksijen atomları üzerinde, sarı bölgeler azot, klor ve flor atomları üzerinde, mavi bölgeler ise karbon ve hidrojen atomlarının çevresinde yoğunlaşmıştır.

### 3.7. Geometri Optimizasyonu

Moleküler bir sistemin enerjisi; moleküldeki bağ uzunlukları, bağ açıları ve burulma açıları gibi parametrelerden oluşan çok değişkenli bir fonksiyondur ve bu fonksiyona Potansiyel Enerji Yüzeyi (PEY) adı verilir. PEY'de birçok minimum ve maksimum nokta vardır. Geometri optimizasyonu aynı zamanda molekülün en kararlı olduğu, yani enerjinin minimum olduğu durumu belirlemektir. Optimizasyon sonucunda molekül için hesaplanan enerji fonksiyonundan minimumlar bulunur ve bu minimumlara karşılık gelen moleküler yapıların koordinatları belirlenir. Böylelikle kuantum mekaniksel hesaplamalara başlamak için ilk koordinatlar elde edilir, çünkü molekülün en kararlı formunu bulmak için bu işlemin yapılması gerekir, aksi takdirde gereksiz etkileşimler hesaplama sonuçlarını etkileyebilir. C1, C5 ve C6'nın numaralı optimize edilmiş geometrik yapısı Şekil 6'te verilmiştir.



Şekil 6. C1, C5 ve C6'nın MEP haritası (sağ) ve optimize edilmiş moleküler yapısı (sol)

## 4. SONUÇ

Bu çalışma ile enfeksiyon hastalıklarına karşı mücadele için yeni ilaç etken maddesi adayı bileşiklerin keşfedilmesi ya da öncü bileşiklere ulaşmak için gerekli çalışmaların ortaya konulması amaçlanmıştır. Bu doğrultuda, bir dizi yeni 2,5-disübstitüe benzoksazol türevi bileşik sentezlenmiş ve bunların antimikrobiyal aktiviteleri incelenmiştir. Bileşikler, incelenen yapılara ve izolatlara karşı orta düzeyde bir aktivite gösterirken; C1, C5 ve C6 türevleri *C. albicans* izolatına karşı MİK: 16  $\mu\text{g/mL}$  ile flukonazole oldukça yakın aktivite sergilemiştir. Tüm bileşiklerin sterol 14 $\alpha$ -demetilaz proteinine (CYP51) karşı moleküler doking çalışması yapıldı ve *C. albicans* izolatına karşı en etkili antimikrobiyal bileşiklerden biri olan C5'in 2D/3D protein-ligand etkileşimleri gösterildi. Tüm bileşiklerin HOMO-LUMO enerjileri ve bu enerjilerden elde edilen bazı elektronik parametreleri hesaplandı. C1'in en düşük LUMO değerine ve

C3'ün en kararlı yapıya sahip olduğu gözlemlendi. Ayrıca C1, C5 ve C6'nın HOMO-LUMO diyagramı, MEP haritası ve optimize moleküler geometrik yapısı görsel olarak sunuldu. Bileşikler genel olarak iyi bir ADME profili gösterdi. Tüm bu sonuçlara göre, sentezlenen bileşikler yeni yapılacak çalışmalara önemli katkıda bulunmakla birlikte, özellikle C1, C5 ve C6 umut verici antifungal ajanlar olabilir.

## 5. Teşekkür

Bu çalışma Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından TKB-2019-9358 araştırma projesi ile desteklenmiştir. Bileşiklerin NMR analizi Erciyes Üniversitesi Teknoloji ve Araştırma Merkezi (TAUM) tarafından, HRMS analizi ise Bilkent Üniversitesi Ulusal Nanoteknoloji Araştırma Merkezi (UNAM) tarafından yapılmıştır.

## Kaynakça

Abushaheen, M. A., Fatani, A. J., Alosaimi, M., Mansy, W., George, M., Acharya, S., Rathod, S., Divakar, D. D., Jhugroo, C., & Vellappally, S. (2020). Antimicrobial resistance, mechanisms and its clinical significance. *Disease-a-Month*, 66(6):100971.

Alqahtani, S. (2017). In silico ADME-Tox modeling: progress and prospects. *Expert opinion on drug metabolism & toxicology*, 13(11):1147-1158.

Arisoy, M., Temiz-Arpaci, O., Yildiz, I., Kaynak-Onurdag, F., Aki, E., Yalcin, I., & Abbasoglu, U. (2008). Synthesis, antimicrobial activity and QSAR studies of 2,5-disubstituted benzoxazoles. *SAR and QSAR in Environmental Research*, 19(5-6):589-612.

Arisoy, M., Temiz-Arpaci, O., Kaynak-Onurdag, F., & Ozgen, S. (2014). Synthesis and Antimicrobial Evaluation of 2-(p-Substituted Phenyl)-5-[(4-substituted piperazin-1-yl)acetamido]-benzoxazoles. *Zeitschrift für Naturforschung C*, 69(9-10):368-374.

Aslam, B., Wang, W., Arshad, M. I., Khurshid, M., Muzammil, S., Rasool, M. H., Nisar, M. A., Alvi, R. F., Aslam, M. A., & Qamar, M. U. (2018). Antibiotic resistance: a rundown of a global crisis. *Infection and Drug Resistance*, 11:1645-1648.

Benazzouz, A., Boraud, T., Dubédat, P., Boireau, A., Stutzmann, J.-M., & Gross, C. (1995). Riluzole prevents MPTP-induced parkinsonism in the rhesus monkey: a pilot study. *European Journal of Pharmacology*, 284(3):299-307.

Celik, I., Erol, M., Puskullu, M. O., Uzunhisarcikli, E., Ince, U., Kuyucuklu, G., & Suzen, S. (2020). In Vitro and In Silico Studies of Quinoline-2-Carbaldehyde Hydrazone Derivatives as Potent Antimicrobial Agents. *Polycyclic Aromatic Compounds*, 1-17.

Cheminformatics, M. (2018). Calculation of molecular properties and bioactivity score. *Computer software*. Retrieved from <http://www.molinspiration.com/cgi-bin/properties>.

Christaki, E., Marcou, M., & Tofarides, A. (2020). Antimicrobial resistance in bacteria: mechanisms, evolution, and persistence. *Journal of Molecular Evolution*, 88(1):26-40.

CLSI, W. P. (2008). Reference method for broth dilution antifungal susceptibility testing of yeasts. *Approved standard—third edition CLSI document M27-A3*.

CLSI, C. (2018). Performance Standards for Antimicrobial Susceptibility Testing: Approved Twenty-: Document M100-S28. *Wayne, PA, USA: CLSI*, 2018.

De Oliveira, D. M., Forde, B. M., Kidd, T. J., Harris, P. N., Schembri, M. A., Beatson, S. A., Paterson, D. L., & Walker, M. J. (2020). Antimicrobial resistance in ESKAPE pathogens. *Clinical Microbiology Reviews*, 33(3): e00181-19.

Erol, M., Celik, I., Temiz-Arpaci, O., Kaynak-Onurdag, F., & Okten, S. (2020). Design, synthesis, molecular docking, density functional theory and antimicrobial studies of some novel benzoxazole derivatives as structural bioisosteres of nucleotides. *Journal of Biomolecular Structure and Dynamics*, 39(9):3080-3091.

French, G. (2010). The continuing crisis in antibiotic resistance. *International journal of antimicrobial agents*, 36(S3-S7).

Frisch, M. (2019). Gaussian09. <http://www.gaussian.com/>.

GaussView, V. (2016). 6, Roy Dennington, Todd A. Keith, and John M. Millam, Semichem Inc., Shawnee Mission, KS.

Kashid, B. B., Ghanwat, A. A., Khedkar, V. M., Dongare, B. B., Shaikh, M. H., Deshpande, P. P., & Wakchaure, Y. B. (2019). Design, Synthesis, In Vitro Antimicrobial, Antioxidant Evaluation, and Molecular Docking Study of Novel Benzimidazole and Benzoxazole Derivatives. *Journal of Heterocyclic Chemistry*, 56(3):895-908.

Kilic-Kurt, Z., Bakar-Ates, F., & Bahat, M. (2019). N, N'-diaryl urea derivatives: Molecular docking, molecular properties prediction and anticancer evaluation. *Journal of Molecular Structure*, 1193:239-246.

Kontoyiannis, D. P., & Lewis, R. E. (2002). Antifungal drug resistance of pathogenic fungi. *The Lancet*, 359(9312):1135-1144.

Lipinski, C. A. (2004). Lead- and drug-like compounds: the rule-of-five revolution. *Drug Discovery Today: Technologies*, 1(4):337-341.

Mary, Y. S., Yalcin, G., Mary, Y. S., Resmi, K., Thomas, R., Önkol, T., Kasap, E. N., & Yildiz, I. (2020). Spectroscopic, quantum mechanical studies, ligand protein interactions and photovoltaic efficiency modeling of some bioactive benzothiazolinone acetamide analogs. *Chemical Papers*, 74(6):1957-1964.

Erol M., Çelik, İ., Kuyucuklu, G., & Uzunhisarcikli, E. (2021). Synthesis of Some New Benzoxazole Derivatives and Antimicrobial and Cytotoxic Activity Studies. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 21:455-462.

Oehlers, L., Mazzitelli, C. L., Brodbelt, J. S., Rodriguez, M., & Kerwin, S. (2004). Evaluation of complexes of DNA duplexes and novel benzoxazoles or benzimidazoles by electrospray ionization mass spectrometry. *Journal of the American Society for Mass Spectrometry*, 15(11):1593-1603.

Osmaniye, D., Çelikeş, B. K., Sağlık, B. N., Levent, S., Çevik, U. A., Çavuşoğlu, B. K., Ilgın, S., Özkay, Y., & Kaplancıklı, Z. A. (2021). Synthesis of some new benzoxazole derivatives and investigation of their anticancer activities. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 210:112979.

Song, M. X., Huang, Y., Wang, S., Wang, Z. T., & Deng, X. Q. (2019). Design, synthesis, and evaluation of anticonvulsant activities of benzoxazole derivatives containing the 1, 2, 4-triazolone moiety. *Archiv der Pharmazie*, 352(8):1800313.

Taşcı, M., Temiz-Arpaci, O., Kaynak-Onurdag, F., & Okten, S. (2018). Synthesis and antimicrobial evaluation of novel 5-substituted-2-(p-tert-butylphenyl) benzoxazoles. *Indian Journal of Chemistry -Section B*, 57B(3):385-389.

Temiz-Arpaci, Ö., Oezdemir, A., Yalçın, İ., Yıldız, İ., Akı-Şener, E., & Altanlar, N. (2005). Synthesis and Antimicrobial Activity of Some 5-[2-(Morpholin-4-yl)acetamido] and/or 5-[2-(4-Substituted piperazin-1-yl)acetamido]-2-(p-substituted

- phenyl) benzoxazoles. *Archiv der Pharmazie: An International Journal Pharmaceutical and Medicinal Chemistry*, 338(2-3):105-111.
- Temiz-Arpaci, O., Arisoy, M., Sac, D., Doganc, F., Tasci, M., Senol, F. S., & Orhan, I. E. (2016). Biological evaluation and docking studies of some benzoxazole derivatives as inhibitors of acetylcholinesterase and butyrylcholinesterase. *Zeitschrift Fur Naturforschung Section C-a Journal of Biosciences*, 71(11-12):409-413.
- Ventola, C. L. (2015). The antibiotic resistance crisis: part 1: causes and threats. *P T*, 40(4):277-283.
- Wu, Z., Bao, X.-L., Zhu, W.-B., Wang, Y.-H., Phuong Anh, N. T., Wu, X.-F., Yan, Y.-J., & Chen, Z.-L. (2018). Design, synthesis, and biological evaluation of 6-benzoxazole benzimidazole derivatives with antihypertension activities. *ACS Medicinal Chemistry Letters*, 10(1):40-43.



# Enflasyon ve Faiz Oranı İlişkisi: Fisher Hipotezinin Türkiye İçin Geçerliliği

Alper Gedik<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> Selçuk Üniversitesi, Beyşehir Ali Akkanat İşletme Fakültesi, İşletme Bölümü, Konya, Türkiye, ORCID: 0000-0002-9085-5605

(İlk Geliş Tarihi 2 Ağustos 2021 ve Kabul Tarihi 29 Eylül 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.989935)

**ATIF/REFERENCE:** Gedik, A. (2021). Enflasyon ve Faiz Oranı İlişkisi: Fisher Hipotezinin Türkiye İçin Geçerliliği. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (27), 615-624.

## Öz

Enflasyon ile faiz oranı arasında ilişki ekonomi alanında yapılan çalışmalarda sıkça incelenen konulardandır. Enflasyon faiz oranı ilişkisini ilk olarak inceleyen Irving Fisher (1930) yapmış olduğu amprik çalışmasında nominal faiz oranı ile enflasyon ilişkisini ortaya koyarak kendi ismiyle anılan Fisher hipotezini literatüre kazandırmıştır. Daha sonra birçok ülke ve ülkeler dahil edilerek birçok bilimsel analizle bu hipotezin geçerliliği tartışılmıştır. Enflasyon ile sıklıkla karşılaşılan Türkiye ekonomisi açısından faiz oranları ile ilişkinin değişik dönemlerde analiz edilerek geçerli olup olmadığı araştırılmıştır. Bu çalışmamızda 2009:02 – 2021-07 dönemlerindeki aylık enflasyon oranı ve faiz oranı logaritmik haliyle analize dahil edilmiştir. Değişkenler arasındaki ilişkiyi analiz etmek için değişkenlerin durağanlığı ADF, PP ve Zivot Andrews gibi birim kök testleriyle sınanmış ve değişkenler I(1) durağan bulunmuştur. Yapılan eşbütünleşme analizi değişkenler arasında uzun dönemli ilişkinin bulunmasının ardından, bu ilişkinin yönü hakkında bilgi edinebilmek amacıyla değişkenlere Granger Nedensellik testi uygulanmış ve enflasyon oranından faiz oranına doğru tek yönlü bir nedensellik bulunmuştur. Yapılan analizler neticesinde elde edilen bulgulara bakıldığında faiz oranında meydana gelebilecek değişmelerin enflasyon oranı tarafından açıklanabileceği görülmüştür. Fisher hipotezinin Türkiye için uzun dönemde geçerli olduğunu göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Enflasyon, Faiz Oranı, Fisher Hipotezi.

## The Relationship of Inflation and Interest Rate: The Validity of the Fisher Hypothesis for Turkey

### Abstract

The relationship between inflation and interest rate is one of the most frequently studied topics in the field of economics. Irving Fisher (1930), who first examined the relationship between inflation and interest rate, introduced the Fisher hypothesis, which is named after her, to the literature by revealing the relationship between nominal interest rate and inflation in her empirical study. Later, many countries and countries were included and the validity of this hypothesis was discussed with many scientific analyzes. In terms of the Turkish economy, which is frequently faced with inflation, the relationship with interest rates has been analyzed in different periods and it has been investigated whether it is valid or not. In this study, monthly inflation rate and interest rate between 2009:02 – 2021-07 are included in the analysis in logarithmic form. In order to analyze the relationship between the variables, the stationarity of the variables was tested with unit root tests such as ADF, PP and Zivot Andrews and the variables were found to be I(1) stationary. Co-integration analysis. After the long-term relationship between the variables was found, the Granger Causality test was applied to the variables in order to obtain information about the direction of this relationship, and a one-way causality from the inflation rate to the interest rate was found. When the findings obtained as a result of the analyzes are examined, it is seen that the changes that may occur in the interest rate can be explained by the inflation rate. It shows that the Fisher hypothesis is valid for Turkey in the long run.

**Keywords:** Inflation, Interest Rate, Fisher Hypothesis.

\* Sorumlu Yazar: Selçuk Üniversitesi, Beyşehir Ali Akkanat İşletme Fakültesi, İşletme Bölümü, Konya, Türkiye, ORCID: 0000-0002-9085-5605, alpergedik@selcuk.edu.tr

## 1. Giriş

Enflasyon kavramı iktisat literatüründe en çok tartışılan konuların başında gelmektedir. Enflasyonun diğer makroekonomik değişkenlerle olan ilişkisi araştırmacılar tarafından halen incelenen konuların başında gelmektedir. Klasik iktisadi düşüncede temel olan piyasaya herhangi bir müdahalenin piyasa dengesini bozacağı görüşü, büyük buhranla beraber yerini keynesyen politikalara bırakmıştır. Bu dönemler enflasyon kavramının daha sığ tartışmalara konu olduğu görülmektedir. Özellikle ikinci dünya savaşının akabinde fiyatlar genel düzeyinde gelişen değişimler ekonomi alanında çalışanların dikkatini bu yöne doru çekilmesine sebep olmuştur (Gök, 2018:5). Enflasyon kavramı kelime olarak latince kökenli olup; “şişkinlik” anlamındadır. Genel bir tanımlamayla ise; enflasyon fiyatlar genel seviyesindeki sürekli artış olarak tanımlanabilmektedir. Enflasyon ülkeler açısından yerel paranın değerinin düşerek alım gücünün azalması anlamına gelmektedir (Karluk, 2005; 379), (Parasız,1997; 373). Burada enflasyondaki artma kavramı mal ve hizmet fiyatlarındaki yükselmeyi ifade etmektedir. Birkaç mal ve hizmetin fiyatındaki değişme enflasyon olarak tanımlanamaz. Tüketici ve üreticilerin kullandıkları tüm mal ve hizmetlerin fiyatlarının artması enflasyon olgusunu ortaya çıkarmaktadır. Ayrıca enflasyonla birlikte tüketicinin gelirlerinde de değişimler görülmektedir. Bu değişimler enflasyon oranından az olursa tüketicilerin alım gücünün azalması söz konusu olmaktadır (TCMB, 2013:6). Fiyatlar genel seviyesindeki düşme ile birlikte yerel parada yaşanan değer kaybı ekonomi açısından sadece belli kesimleri etkilemekle kalmayıp tüm toplum kesimlerini de etkilemektedir. Enflasyonun toplumun üzerinde oluşturduğu negatif etki ekonomik problemlerin yanında sosyal birtakım problemleri de beraberinde getirmektedir. Bu durum enflasyonu toplumsal bir sorun olarak karşımıza çıkarmaktadır (Orhan, 1995; 1).

Enflasyonun ölçülmesinde fiyatlar genel seviyesindeki artışla beraber tüketicilerin alım gücündeki azalma belirlenmeye çalışılmaktadır. Bunun hesaplanabilmesi tüketime ve üretime konu olan mal ve hizmetlerin fiyatlarındaki değişimi belirleyebilmekle mümkündür. Enflasyonun hesaplanmasında fiyat endeksleri kullanılmaktadır. Fiyat endekslerinde ülkelere göre bazı farklılıklar görüle de uluslararası fiyat endekslerinin belirlenmesinde standartlar mevcuttur. Türkiye’de enflasyon hesaplamaları Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) tarafından yapılmaktadır. Tüketici fiyatları ve üretici fiyatlarındaki değişim TÜİK tarafından ayrı olarak hesaplanmaktadır (Terzi ve Tütüncü, 2017: 174). Fiyat endeksi ölçümlerinde mal ve hizmetlerin belirlenmesinin yanında fiyat değişimlerinin takiplerinin de nasıl yapılacağı önem arz eder. Piyasalarda farklı fiyatlardan oluşabilen mal ve hizmet türlerinde bu durum hesaplama işlemini zorlaştırmaktadır. TÜİK tarafından iki türde fiyat endeksi belirlenerek hesaplamalar yapılmaktadır. Bunların ilki Tüketici Fiyat Endeksi (TÜFE), diğeri ise Üretici Fiyat Endeksi (ÜFE) olarak ifade edilmektedir (TÜİK, 2008: 15-19). Tüketici fiyat endeksi üzerinden enflasyon hesaplamasında, hane halklarının belli dönem aralıklarında tüketim değerlerinin endekse konu olan mal ve hizmetler üzerinden değişimlerinin belirlenmesi gerekmektedir. TÜFE hesaplamaları ekonomik anlamda ülkelerin göstergelerinden biri olmanın yanında, ekonomi politikasının yönünün belirlenmesi açısından da önem arz etmektedir. Makroekonomik anlamda ekonomiye yapılan müdahaleler enflasyonu düşürmek veya belli seviyede tutmak üzerine yoğunlaşmaktadır (Gök, 2018: 5). ÜFE üzerinden

enflasyon hesaplaması ise üretimi yapılan yurt içi mal ve hizmetlerin belirli bir zaman dilimindeki fiyat değişimlerinin belirlenmesiyle bulunmaktadır. Üretime konu olan mal ve hizmetler fiyatları üzerinden hesaplanan enflasyon, ekonomi politikalarını etkileme açısından önemlidir. Üretim maliyetlerinin artması birçok sebepten olabilmektedir. Bu durum aynı zamanda TEFE (Toptan Eşya Fiyat Endeksi) üzerinde de baskı unsuru olarak görülmektedir (Kurnaz, 2009: 5-6). Buradan yola çıkarak TEFE ve ÜFE arasında birçok farklılıklar olduğu ifade edilebilmektedir. TÜFE hane halkının yaptığı belli dönem harcamalarını dikkate alırken, ÜFE üretilen ürünlerin fiyatlarını değerlendirmeye almaktadır. TÜFE de fiyatlar dikkate alınırken vergiler dahil edilmekte, ÜFE de ise vergiler dahil edilmemektedir. TEFE de yurt dışı mal ve hizmetlere yapılan harcamaların fiyatları dikkate alınırken, ÜFE de sadece yurt içi üretimde kullanılan mal ve hizmet fiyatları dikkate alınmaktadır (Terzi ve Tütüncü, 2017: 174). Fiyat endeksleri hesaplamasında mal ve hizmetler belirlendikten sonra genel fiyat düzeylerinin belirli zaman aralıklarında farklılıkları hesap edilmektedir. Bunun için Laspeyres endeksi ve Paasche endeksi olmak üzere iki farklı fiyat endeksi hesaplama yöntemi kullanılmaktadır (Kurnaz, 2009: 3-4). Fiyat endeksi hesaplamasında Laspeyres fiyat endeksi, Paasche fiyat endeksine göre daha fazla kullanılan bir hesaplama yöntemidir. Paasche fiyat endeksi hesaplamasında Laspeyres fiyat endeksine göre fiyat artışları normale oranla daha az görülmektedir. Hesaplama farklı etkilerin her zaman en baştan belirlenmesinin pratikte ortaya koyduğu güçlükler, hesaplamada uzun gecikmelere neden olabilmektedir. Bu sorunu ortadan kaldırmak için Irving Fisher Laspeyres ve Paasche endekslerinin geometrik yaklaşımını dikkate alarak Fisher Endeksi oluşturmuştur. Kullanım alanı çok fazla bulunmayan Fisher Endeksi her iki endeksi de değerlendiren çapraz bir endeks durumundadır (Gök, 2018:6-7).

Enflasyonla mücadelede geliştirilecek politikalar açısından enflasyonun nedenlerini ve hangi sürelerde oluştuğunun tespiti önem arz etmektedir. Enflasyonu, nedenleri ve sürelerine göre ayırım yapmakta yarar vardır. Nedenlerine göre enflasyon sebep sonuç ilişkisi üzerinden bir ayırma tabi tutulur. Bunlar talep sebebiyle, maliyet sebebiyle, yapısal sebeplerle ve ithal kaynaklı enflasyon olmak üzere gruplandırılabilir (Unay, 2001: 322). Talep enflasyonu, talep ile arz arasındaki dengesizlik durumuna bağlı olarak oluşmaktadır. Talebin arz dan fazla olduğu durumlarda oluşan enflasyondur. Bu talep artışı özel kesim veya kamu kesimi kaynaklı oluşabilmektedir (Altınok, 2004: 307). Maliyet enflasyonunda ise üretimde kullanılan mal ve hizmet fiyatlarındaki artış temel sebep olmaktadır. Üretim için gerekli olan üretim faktörlerinin birinde veya birkaçında meydana gelen fiyat artışı fiyatlar genel seviyesini arttırarak enflasyona sebep olabilmektedir (Çiçek, 2005: 107/Gök, 2018:7). Bir başka enflasyon türü yapısal sebeplerden kaynaklanan enflasyondur. Yapısal enflasyon ekonomik yapıda oluşan aksaklıklardan dolayı ortaya çıkmaktadır (Sloman, 2004: 68). İthalat enflasyonunda ise durum yurt dışı kaynaklı fiyat artışlarını dikkate almayı gerekli kılar. Bunların dışında fiyat artış hızına göre oluşan enflasyon türleri de ekonomi politikasının seyri açısından önemlidir. Fiyat artışlarındaki hız bu enflasyon türlerinin ayırımında temel oluşturmaktadır. Bunlar ılımlı, yüksek ve hiper enflasyonlar olarak adlandırılırlar (Gök, 2018: 8). Tüm bunlardan yola çıkarak enflasyonun şu özelliğini de ifade etmekte yarar vardır. Enflasyonun gerekliliği ekonomistler tarafında ayrı bir çalışma konusu olmaktadır. Enflasyon belli seviyelerde olmazsa olmaz bir durumu ifade eder. Enflasyon ülkeler açısından düşük eviyelerde gerekliliği

haizdir (Subaşı, 2005: 25). Enflasyon her ne kadar düşük düzeyde ülkeler açısından gerekli görülse de, özellikle yüksek enflasyon ülkeler için önemli sorunları da beraberinde getirmektedir. Enflasyonla doğru mücadele etmek için enflasyonun neden kaynaklandığı önemli olduğu gibi hangi ekonomik politika ve uygulamalar enflasyona neden oluyor bilinmesinde yarar vardır. Merkez bankasının para politikası araçlarıyla piyasaya yaptığı müdahaleler, kamuda ücret artışları, yatırım ve tüketim harcamalarındaki artışlar, tasarrufların azalması, gelecek beklentileri... gibi pek çok neden enflasyonu etkileyebilmektedir (Gök, 2018: 9):

Enflasyon ülkeler açısından birçok olumsuz etkiye neden olabilmektedir. Özellikle az gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler gelişmiş ülkelere göre enflasyondan daha fazla etkilenmektedirler. Ülkeler ekonomik istikrarsızlıklardan kaynaklanan birçok nedenle enflasyonla başarılı bir mücadele yapamadıkları takdirde sosyokültürel olarak toplumun etkilenmesi de farklı boyutlara kayabilmektedir. Enflasyon durumlarında gelir adaletsizlikleri, düşük gelir gurubunun alım gücünün daha da azalması durumunu ortaya koyar. Ayrıca yüksek gelir gurubu enflasyon dönemlerinde bu durumu kendi lehine çevirebilecek politikalar izleyebilirler (Ulusoy, 2006: 190). Enflasyon durumları tasarruflar içinde belirleyici faktör oluşturmaktadır. Faizlerin yükselmesi ve piyasalarda süren belirsizlik tasarrufların faize kaymasına neden olarak, enflasyonu etkileyebilmektedir. Bu durum yatırımlarda azalmayı beraberinde getirmektedir. Faizlerin düşmesi durumunda ise yatırımlar ve tüketim harcamalarındaki artış nedeniyle enflasyon baskısının artırması beklenmektedir (Bocutoğlu, 2011: 90 Aktaran: Gök, 2018: 10). Enflasyonla mücadele için uygulanacak politikalar genelde daraltıcı maliye para politikaları olmaktadır (Gök, 2018: 11). Çalışmamızın içeriğini oluşturan enflasyonun etkileşimde olduğu makroekonomik değişkenlerden en önemlilerinin başında faiz gelmektedir.

Ekonomi literatüründe faizle ilgili çeşitli tanımlamalar mevcuttur. Genel bir tanımlama yapıldığında sermaye ihtiyacı olan bireylerin tasarruf sahiplerinden birikimlerini belli bir bedel karşılığında ödünç alma olarak tanımlanır (Dinler, 2008: 150). Bu tanımdan yola çıkarak faizin yatırımlar için çok önemli bir ekonomik unsur olduğu söylenebilir. Makroekonomik değişkenler içerisinde faiz unsurunun etki alanı oldukça fazladır. Yüksek faiz yükü yatırımları azaltıcı bir etkiye sahip olurken, büyümeyi olumsuz etkileyebilmektedir. Ayrıca enflasyonla mücadele için en çok başvurulan ekonomik değişkenlerin başında gelmektedir. Ülkede yatırımları etkileyen faiz değişkeni, yatırımların faize karşı duyarlılığı açısından önemlidir. Eğer yatırımlar sonucunda elde edilmesi beklenen getiri faize ödenecek değerden yüksek olduğu düşünülüyorsa yatırımın gerçekleşmesi anlamlı hale gelir. Tersine bir durumda yatırım yapmak anlamsızdır (Parasız, 2009: 68). Bu durumda yatırımdan vazgeçilerek elde bulunan değerlerin yüksek faiz getirisi için kullanılması sonucu ortaya çıkar. Faizle ilgili unsurlar çeşitlilik arz eder. Birçok faiz getirisine sahip enstrüman piyasada söz konusudur (Ünsal, 2007: 110). Ülkelerin ekonomi politikalarında önemli bir yere sahip olan faiz değişkeni birçok unsurun etkisi altında kalmaktadır. Bunlardan bazıları para arzı, enflasyon, döviz kuru, kamu harcaması ve borçlanmaları, uluslararası sermayenin yönü... gibi hususlar olarak karşımıza çıkmaktadır (Üstünel, 1990: 122). Faiz unsurunun etkileşim içinde olduğu enflasyon unsuru bizim çalışmamızın temelini oluşturmaktadır. Faiz ile enflasyon arasındaki ilişkiyi literatüre ilk olarak Fisher

sunmuştur. Bu sebeple faiz ile enflasyon arasındaki ilişkiyi ifade eden teoriye Fisher teorisi denilmektedir.

## 2. Fisher Hipotezi

Enflasyon faiz oranı ilişkisi ilk olarak Irving Fisher (1930) tarafından incelenmiştir. Fisher enflasyonla nominal faiz oranı arasındaki ilişkiyi ortaya koyarak kendi adıyla anılan Fisher hipotezini literatüre kazandırmıştır. Daha sonra Fisher hipotezinin geçerliliği üzerine pek çok ampirik çalışma yapılarak ülke veya ülkeler için araştırmaya çalışılmıştır. Fisher hipotezi temelde beklenen enflasyon oranı ile nominal faiz oranının ilişkisini ortaya koymuştur. Bu durum nominal faiz oranının enflasyonla beraber artıp azaldığını göstermektedir. Ancak bu artış ve azalış reel faizi etkilememektedir. Bunun sebebi Fisher'e göre reel faizin sabit olması ve uzun dönemde enflasyona etki eden unsurların reel faize etki etmemesidir (Dornbusch ve Fischer, 1998: 498), (Fisher, 1930: 135-146). Fisher hipotezi politika yapıcılar açısından önemli bir etkiye sahiptir. Fisher hipotezinin geçerli olduğu ülkelerde merkez bankasının uyguladığı para politikasının reel faiz oranını değişiminde herhangi bir etkiye sahip olmadığı sonucu ortaya çıkar. Ayrıca nominal faiz oranındaki artış beklenen enflasyon oranında artış olacağına da göstergesi kabul edilmektedir (Küçüksoy ve Akalın 2017:21), (Gök, 2018: 15 ). Bu çalışmada amacımız, Türkiye'nin 2009:02 – 2021-07 arasında Fisher hipotezinin geçerli olup olmadığını test edilmesidir. Ayrıca çalışmada Türkiye ekonomisinde enflasyonu ve reel faizi dengelemek için kullanılan para politikası unsurlarının etkin olup olmadığını belirlenebilmesi amaçlanmıştır.

Fisher hipotezi enflasyon ile nominal faiz oranı arasındaki ilişkiyi ortaya koymaktadır. Reel faiz oranında uzun dönemde bir etki unsuru oluşturamamaktadır görüşüne dayanır. Nominal faiz oranından enflasyonun arındırılması ile reel faiz oranı bulunmuş olur. Irving Fisher tarafından ortaya konan ve Fisher denklemi olarak ifade edilen nominal ve reel faiz ile beklenen enflasyon arasındaki ilişki aşağıda verilmektedir.

$$it=rt+\pi et \quad (1)$$

$$rt=it-\pi et \quad (2)$$

Fisher hipotezine göre  $it$  nominal faiz oranını,  $rt$  reel faiz oranını,  $\pi$  ise beklenen enflasyon oranını göstermektedir. 1. Denklemden nominal faiz oranı, reel faiz oranı ile beklenen enflasyon oranının toplamına eşittir (Fisher, 1930:27). Bu durum başka bir deyişle para piyasasında para arzının artmasının enflasyon ve nominal faiz üzerinde değişime neden olduğunu fakat reel faiz üzerinde bir tesirinin olmadığını göstermektedir. 2. denklemden ise reel faiz oranı nominal faiz oranının beklenen enflasyon oranından arındırılmış durumunu göstermektedir (İncekara vd., 2012:397). Enflasyon faiz oranı ilişkisi uzun dönemde nominal faiz ile enflasyonun etkileşimini gösterirken, reel faiz oranını etkilememektedir. Bunun sebebi uzun dönemde reel faiz oranlarının enflasyonu etkileyen değişkenlerden etkilenmemesidir (Şimşek ve Kadılar, 2006: 99).

Reel faiz oranı ekonomi politikalarına göre değişebilmektedir. Faiz oranındaki değişim beklenen enflasyon oranındaki değişim gösterilebilecektir. Gelecek enflasyon beklentilerini göstermesi açısından faiz oranı ile enflasyon arasındaki ilişkinin bilinmesi önem arz etmektedir. Fisher hipotezinde bu durum enflasyon oranlarında yaşanacak %1 birimlik artışın, faiz oranlarının da % 1 birimlik artışla beraber olacağını ifade etmektedir (Mankiw, 2010: 94-95). Fisher ayrıca

faiz oranlarının fiyat artışlarını durdurabileceğini ve paranın değer kaybının göstergesi olabileceğini vurgulamıştır (Ergin, 1983:200). Fisher hipotezinde beklenen enflasyon oranı direk bir hesaplaması yapılamamaktadır. Bu nedenle beklenen enflasyon oranı yerine mevcut reel enflasyon verilerine hata terimi eklenerek denklem yeniden oluşturulabilmektedir (Christopoulos ve León-Ledesma, 2007: 545).

$$it=rit+r\pi t+et$$

(3)

Denklemden beklenen enflasyon oranı hata terimi ile reel enflasyon oranının toplamına eşit kabul edilmektedir. Buradan yola çıkarak hata teriminin düzgün dağılımı olduğunu varsayarak Fama (1975) tarafından yeni bir düzenlemeyle aşağıdaki denklem oluşturulmuştur.

$$it=a_0+a_1r\pi t+9t,9t\sim iid(0,\sigma^2)$$

(4)

Bu oluşturulan yeni denklemden hareketle Fisher hipotezinin geçerliliğini test etmek maksadıyla yeni hipotezler oluşturulmuştur.

$$H_0:a_1=1$$

$$H_1:a_1\neq 1$$

Enflasyon ile faiz oranı ilişkisi için oluşturulan hipotezlere göre, Fisher hipotezi eğer eşbütünlük 1 e eşitse tam etki, 1'den büyük ise güçlü etki, 1'den küçükse zayıf etki ifade etmektedir. Eğer ilişki tespit edilmemişse bu durumda Fisher hipotezinin geçersiz olduğu sonucuna ulaşılmaktadır (Bayat, 2011: 48-49), (Gök, 2018: 17).

### 3. Literatür Çalışması

Literatür incelemesi yapıldığında Fisher hipotezi üzerine çeşitli uygulamalar kullanılarak çok sayıda ülke veya ülke gurupları üzerinde çalışmalar yapıldığı görülmektedir. Ayrıca Türkiye içinde yapılan birçok çalışmada Fisher hipotezinin geçerliliği sınamaktadır.

Fisher hipotezinin geçerliliğinin sınındığı yabancı çalışmalardan bazılarını baktığımızda; Fama (1975), tarafından 1953:M5-1971:M6 dönemlerini kapsayan Amerika üzerine yapmış olduğu çalışmalarında hazine tahvil faizleri ile enflasyon verileri arasında ilişki olduğu tespiti yer almaktadır. Yine ABD üzerine Bonham (1991)'in 1955:M1- 1990:M3 dönemlerini kapsayan çalışmalarında ABD'nin faiz oranları ile enflasyon verileri arasında pozitif yönde ilişki olduğu ancak Fisher hipotezini doğrulayan bir ilişkinin görülmediğini ifade etmiştir. Mishkin (1992)'nin ABD Üzerine yapmış olduğu bir başka çalışmada ise 1953:M5- 1990:M10 dönemleri veri seti olarak kullanılmıştır. Çalışma sonucunda Fisher hipotezinin uzun dönemde kabul edilebileceği, kısa dönemde gerçekleşmediğini ifade etmişlerdir. Ayrıca Mishkin ve Simon (1995) yılında Kanada üzerine yaptıkları 1962:Q3- 1993:Q2 dönemlerini kapsayan başka bir çalışmada ise Fisher hipotezinin dalgalı kur rejimi uygulamalarında kabul edilemeyeceğini belirtmişlerdir. Yine ABD ve İngiltere üzerine bir başka çalışmayı yapan Boudoukh, Richardson (1993); ABD ve İngiltere üzerinde 1802-1990 dönemlerini kapsayan çalışmalarında Fisher hipotezinin kabul edilebilir olduğunu ifade etmişlerdir. ABD üzerine yapılan başka bir çalışmada ise Pelaez (1995) 1959:Q1- 1993:Q4 dönemlerini dikkate almıştır. Çalışma sonucunda faiz oranları ile enflasyon verileri arasında pozitif yönde ilişki olduğu ancak Fisher hipotezini doğrulayan bir ilişkinin görülmediğini tespit

etmişlerdir. Payne ve Ewing (1997) yılında 1973-1996 dönemlerini kapsayan çalışmalarında Srilanka, Malezya, Singapur ve Pakistan ülkeleri için Fisher hipotezinin kabul edilebilir olduğunu, fakat çalışmadaki diğer ülkeler olan Tayland, Arjantin, Nijer ve Şili için Fisher hipotezinin kabul edilemeyeceğini ifade etmişlerdir. Atkins ve Coe (2002) yılında 1953-1999 yıllarını kapsayan ABD ve Kanada üzerine yaptıkları çalışmalarında Fisher Hipotezinin geçerli olduğu sonucuna varmışlardır. Westerlund (2006) tarafından yapılan çalışmada OECD ülkeleri üzerine 1980:M1- 1999:M1214 dönemleri için Fisher hipotezinin geçerli olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Nusair (2008) 1978-2005 yıllarını kapsayan çalışmalarında Fisher hipotezinin Malezya, Kore, Singapur, ve Tayland için kabul edilebileceğini, Endonezya ve Filipinler için ise kabul edilemeyeceği sonucuna ulaşmışlardır. Ahmad (2010) yılında Kuveyt üzerine yapmış oldukları 1971:M1- 2006:M1 dönemlerini kapsayan çalışmalarında Fisher hipotezinin geçerli olduğu belirtilmiştir.

Yurt dışında yapılan çalışmalara bakıldığında tek ülke veya birden fazla ülke verilerinin kullanıldığı çalışmalar mevcuttur. Çalışmaların genelinde enflasyon verisi olarak TEFE veya TÜFE kullanılmıştır. Faiz oranı veri seti olarak genellikle nominal faiz oranları kullanılmaktadır. Bunların dışında başka değişkenlerinde analize dahil edildiği çalışmalar görülmektedir. Çalışmaların geneline bakıldığında Fisher hipotezinin geçerli olduğu sonucuna ulaşanların daha fazla olduğu görülmektedir. Yukarıda yer alan literatür incelemesindeki çalışmalardan Bonham (1991), Mishkin ve Simon (1995), Pelaez (1995) Fisher hipotezinin geçerli olmadığı sonucuna ulaşmışlardır. Diğer çalışmaların Fisher hipotezinin geçerli olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Türkiye üzerine Fisher hipotezinin geçerliliğini inceleyen bazı çalışmalara baktığımızda ise; Turgutlu (2004) yapmış olduğu çalışmada 1978:Q4- 2003:Q4 dönemlerini dikkate almıştır. Fisher hipotezinin TÜFE verileri ile enflasyon verileri dikkate alındığında geçerli olduğu sonucuna ulaşmışlardır. TEFE verileri dikkate alındığında ise hipotezin geçerli olmadığını ifade etmişlerdir. Bir başka çalışmada ise, Şimşek ve Kadılar (2006) 1978:Q1- 2004:Q4 dönemlerini kapsayan çalışmada Türkiye için Fisher hipotezinin geçerli olduğu sonucuna varmışlardır. Gül ve Açıklalın (2008) yapmış oldukları çalışmalarında 1990-2003 yıllarını dikkate alarak yine Fisher hipotezinin Türkiye için geçerli olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Yılancı (2009) yapmış olduğu çalışmada 1989:Q1- 2008:Q1 dönemlerini dikkate almıştır. Çalışma sonucunda Fisher hipotezinin Türkiye için geçersiz olduğunu ifade etmişlerdir. Bayat (2011) yapmış oldukları çalışmalarında 2002:M1- 2011:M5 dönemlerini kapsayan veriler kullanmışlardır. Çalışma sonucunda Türkiye için Fisher hipotezinin geçerli olmadığını ifade etmişlerdir. Köse vd., (2012) 2002-2009 yıllarını kapsayan çalışmalarında uzun vadeli faiz verilerinin para politikasından etkilendiğini ve para politikasının enflasyon beklentilerine paralel hareket ettiğini ifade etmişlerdir. Bu durumun Fisher hipotezinin zayıfta olsa geçerli olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Çakmak vd. (2002) Fisher hipotezini 1989-2001 dönemlerini dikkate alarak geçerliliğini araştırmışlardır. Çalışmalarında nominal faiz oranları ile enflasyon arasında ilişki tespit etmemişlerdir. Fisher hipotezinin geçersiz olduğunu ifade etmişlerdir. İncekara vd. (2012), 1989-2011 dönemlerini kapsayan çalışmalarında VAR analizi neticesinde enflasyon ile faiz oranı arasında ilişki tespit etmişlerdir. Bu sonuca göre Fisher hipotezini geçerli kabul etmişlerdir. Mercan (2013), 1992-2013 dönemini kapsayan

çalışmalarında 26 ülke üzerine inceleme yapmışlardır. Granger nedensellik analizine göre nominal faiz oranı ve enflasyon verileri arasında ilişki tespit etmişlerdir. Fisher hipotezinin geçerliliği sonucuna ulaşmışlardır. Hacıoğlu ve Yerlikaya (2014), çalışmalarında 1988-2013 dönemlerini incelemişlerdir. Enflasyon ve faiz oranı değişkenleri arasında iki yönlü nedensellik ilişkisi tespit ederek Fisher hipotezinin geçerli olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Atgür ve Altay (2015), 2004-2013 dönemini inceledikleri çalışmalarında Fisher hipotezinin geçerli olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Türkiye üzerine yapılan çalışmaların çoğunda nominal faiz oranları ile enflasyon verileri kullanılmıştır. Farklı dönemlerin değerlendirildiği çalışmalarda enflasyon oranı olarak TEFE veya TÜFE verileri ayrı veya ikisi birlikte kullanıldığı görülmektedir. Yılcı (2009), Bayat (2011), Çakmak vd. (2002) çalışmalarında Fisher hipotezinin geçerli olmadığı sonucuna ulaşmışlardır. Bunların dışındaki çalışmalarda ise Fisher hipotezi geçerli kabul edilmektedir.

#### 4. Veri Seti ve Yöntem ile Araştırma Bulgularının Değerlendirilmesi

Bu çalışmada 2009:02 – 2021-07 arasında aylık enflasyon oranı ve faiz oranı kullanılmıştır. Enflasyon verisi olarak TEFE verileri kullanılırken, faiz değişkeni olarak nominal faiz oranı verileri kullanılmıştır. Değişkenlerin logaritmaları alınıp analize dahil edilmiştir. Veriler Türkiye Cumhuriyeti Merkez Bankası Elektronik Veri Dağıtım Sisteminden elde edilmiştir.

Değişkenlerin birim kök içerip içermediğini incelemek amacıyla veriler Augmented Dickey-Fuller (ADF) birim kök testi ve Phillips Perron (PP) birim kök testi uygulanmıştır. Değişkenlerin durağan olabilmesi için her iki testte de tablo değerlerinin mutlak değerce kritik değerden büyük olursa “seride birim kök vardır” olarak kurulan sıfır hipotezi reddedilir ve serinin birim kök içermediği sonucuna ulaşılır. Birim kök testi sonuçları Tablo 1’de yer almaktadır.

Tablo 1 Birim Kök Testleri

Değişkenler	ADF Birim Kök Testi			Phillips Perron Birim Kök Testi		
	Sabitli	Sabitli ve Trendli	Sabitsiz ve Trendsiz	Sabitli	Sabitli ve Trendli	Sabitsiz ve Trendsiz
Logfaiz	-2.263886	-3.505232**	0.010058	-1.830503	-3.121745	-0.038465
Logenflasyon	-0.459602	-2.498624	0.869104	-1.835576	-3.465024**	0.314177
$\Delta$ Logfaiz	-5.786668	-5.801021	-5.796309	-5.708479	-5.726216	-5.721952
$\Delta$ Logenflasyon	-6.643666	-6.646470	-6.586905	-9.106664	-9.092420	-9.096126

Not: ADF ve PP Kritik değerler sabitli modelde; %1\* için -3.47, %5\*\* için -2.88, %10\*\*\* için -2.57 sabitli ve trendli modelde; %1\* için -4.02, %5\*\* için -3.44, %10\*\*\* için, -3.14 sabitsiz ve trendsiz modelde; %1\* için -2.58, %5\*\* için -1.94, %10\*\*\* için -1.61.

Tablo 1’de yer alan ADF birim kök testine göre faiz oranı sabitli ve trendli model hariç tüm modellerde düzeyde durağan değil yani birim kök içermekte fakat sabitli ve trendli modelde ise %5 önem seviyesinde durağan hale gelmektedir. Enflasyon değişkeni ise tüm modellerde düzeyde durağan değildir. Değişkenlerin birinci farkları alındığında hepsi birinci farkta durağan hale gelmektedir.

PP birim kök testi sonucuna göre ise faiz oranı tüm modellerde düzeyde durağan değildir fakat birinci farkta

alındığında durağan hale gelmektedir. Enflasyon değişkeni ise sabitli ve trendli model hariç düzeyde durağan değildir sabitli ve trendli modelde ise %5 önem seviyesinde düzeyde durağandır. Enflasyon değişkeninin birinci farkı alındığında tüm modellerde seri durağan hale gelmektedir.

Durağanlık derecesine karar vermek hangi eşbütünlük testinin uygulanacağına karar vermek için büyük önem taşımaktadır. Bunun için yapısal kırılmayı dikkate alan Zivot Andrews birim kök testi sonuçları Tablo 2’de yer almaktadır.

Tablo 1 Zivot Andrews Birim Kök Testi

Değişkenler	Model A	Kırılma Zamanı	Model C	Kırılma Zamanı
Faiz	-3.859521	2017:02	-4.017711	2018:05
Enflasyon	-3.842205	2018:02	-4.242819	2018:04
$\Delta$ Faiz	-7.042465	2019:08	-7.806932	2019:08
$\Delta$ Enflasyon	-7.806932	2019:08	-7.806932	2019:08

Not: Model A için kritik değerler, %1 için -5.34, %5 için -4.93, %10 için -4.58 Model C için kritik değerler, %1 için -5.57, %5 için -5.08, %10 için -4.82.

Tablo 2’de yer alan Zivot Andrews birim kök testine göre hem sabiti dikkate alan Model A hem de sabit ve trendli dikkate alan Model C de enflasyon ve faiz değişkenleri I(1) seviyesinde durağan hale gelmektedir. Serilerde yer alan kırılma tarihleri dikkate alındığında kırılmalar modele eklendiği zaman anlamlı bir sonuç vermemektedir.

Her iki değişken de I(1) seviyesinde durağan hale gelmektedir ve bunun için her serinin aynı dereceden bütünleşik olduğunu dikkate alan Johansen Eşbütünlük testi modele uygulanacaktır. Eşbütünlük testine geçmeden önce serilerin uygun gecikme uzunluğunun belirlenmesi gerekmektedir.



Tablo 2 Uygun Gecikme Uzunluğu

Gecikme	LogL	LR	FPE	AIC	SC	HQ
0	-27.05217	NA	0.005132	.0403502	0.444750	0.420263
1	307.5945	655.3497	5.20e-05	-4.188813	-4.065070	-4.138531
2	351.8858	<b>85.50682*</b>	<b>2.97e-05*</b>	<b>-4.748414*</b>	<b>-4.542177*</b>	<b>-4.664611*</b>
3	353.0405	2.197129	3.09e-05	-4.708896	-4.420164	-4.591572
4	353.5531	0.961154	3.24e-05	-4.660460	-4.289233	-4.509615
5	357.2650	5.856723	3.26e-05	-4.656459	-4.202737	-4.472092
6	361.0509	6.888237	3.27e-05	-4.653485	-4.117269	-4.435597

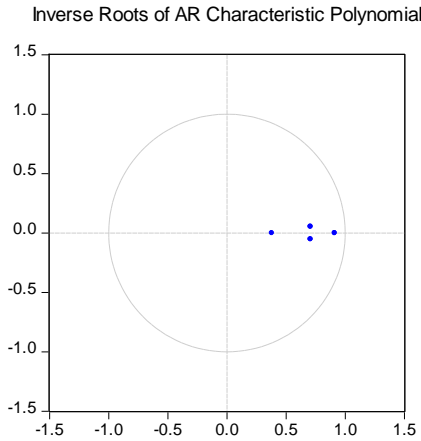
Tablo 3'te yer alan uygun gecikme uzunluğu seçim kriterlerine bakıldığında tüm bilgi kriterleri 2 gecikmeyi göstermektedir. 2 gecikmeyi dikkate alan modelde değişen varyans ve otokorelasyon sorunun olup olmadığı ölçülmüş ve sonuçlar Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 3 Model Sınaması

	Test İstatistiği	Olasılık
<b>Otokorelasyon LM Test İstatistiği</b>	3.922458	0.4166
<b>Değişen varyans White Test İstatistiği</b>	58.20677	0.0493

Tablo 4'te yer alan sonuçlara göre sıfır hipotezi "otokorelasyon yoktur" %1, %5 ve %10 anlamlılık seviyesinde kurulan modelde reddedilmiş ve otokorelasyon sorununun olmadığı, %1 anlamlılık seviyesinde ise modelde "değişen varyans yoktur" olarak kurulan sıfır hipotezi reddedilmekte ve değişen varyans sorununun olmadığı görülmektedir.

Tablo 4 AR Karakteristik Polinomunun Ters Kökleri



Tablo 5'te yer alan grafikte ters kökler birim çember içinde kaldığı için kurulan modelin durağanlık açısından bir sorun taşımadığını göstermektedir.

Yapılan sınamalar sonucunda uygun gecikme uzunluğu 2 olarak bulunmuş ve değişkenler arasındaki ilişkiyi belirlemek amacıyla modele Johansen Eşbütünleşme testi uygulanmıştır. Eşbütünleşme testi sonuçları Tablo 6'da yer almaktadır.

Tablo 5 Johansen Eşbütünleşme Sonuçları

$H_0$ Hipotezleri	Özdeğer	İz İstatistiği	0.05 Kritik Değer	Olasılık	Maksimum Özdeğer	0.05 Kritik değer	Olasılık
$r=0$	0.116037	22.11950	20.26184	0.0274*	18.13104	15.89210	0.0219*
$r \leq 1$	0.026768	3.988462	9.164546	0.4138	3.988462	9.164546	0.4138

Tablo 6'da yer alan Johansen Eşbütünleşme sonuçlarına göre  $r=0$  olarak kurulan sıfır hipotezi hipotez için iz istatistik değer kritik değerden büyük çıkmaktadır. Ayrıca maksimum özdeğer değeri de kritik değerden büyük çıkmaktadır sonuç olarak sıfır

hipotezi reddedilmekte ve bir adet koentegre vektör bulunmasıyla birlikte değişkenler arasında uzun dönemli bir ilişki olduğu söylenebilmektedir.

Tablo 6 Vektör Hata Düzeltme Modeli

Hata Düzeltme CointEq1	D(Logenfilyasyon)	D(logfaiz)
	-0.111978 (0.04328) [-2.58702]	0.056385 (0.01835) [3.07242]

Tablo 7'de yer alan vektör hata düzeltme modelinde -0.111978 değerinde olan hata düzeltme modeli katsayısı hem negatif hem de anlamlıdır. Bu sonuç bize kurulan modelin anlamlı olduğunu söylemektedir. Diğer bir deyişle enflasyon

oranı ve faiz oranı arasındaki uzun dönemli ilişkiyi doğrulamaktadır.

Değişkenler arasında uzun dönemli bir ilişki bulunduğundan sonra bu ilişkinin yönünü bulmak amacıyla değişkenlere

Granger Nedensellik testi uygulanmıştır ve sonuçları Tablo 8’de yer almaktadır.

Tablo 7 Granger Nedensellik Analizi

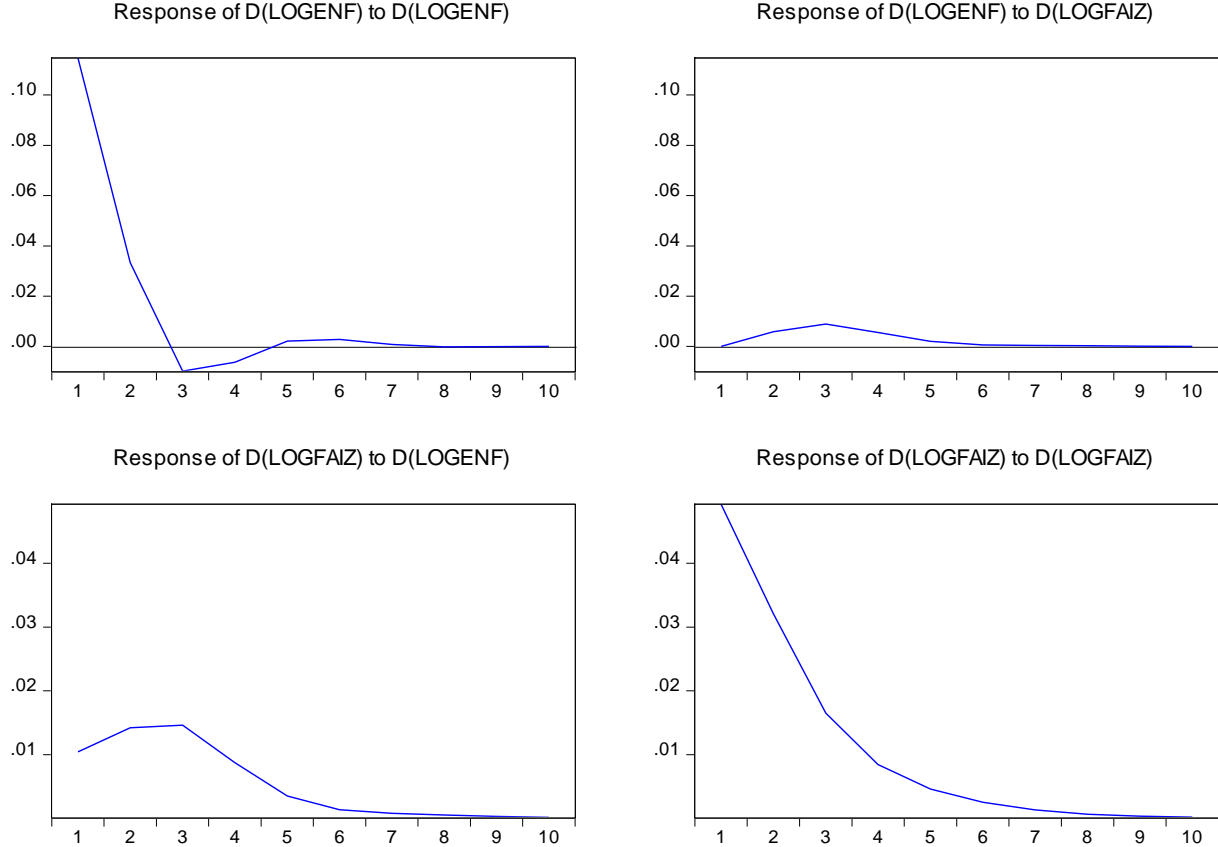
Nedenselliğin Yönü	F İstatistiği	Olasılık
Enflasyon → Faiz	2.55003	0.0817
Faiz → Enflasyon	0.64408	0.5267

Tablo 8’de yer alan Granger Nedensellik analizine göre enflasyon oranından faiz oranına doğru %10 anlamlılık

seviyesinde tek yönlü bir nedensellik bulunmaktadır. Faiz oranında enflasyon oranına doğru ise nedensel bir ilişki bulunmamaktadır.

Tablo 8 Etki-Tepki Analizi

Response to Cholesky One S.D. (d.f. adjusted) Innovations



Tablo 9’da yer alan Etki-Tepki analizine göre faiz oranına verilen bir standart sapmalılık şoka karşı enflasyon oranı birinci dönemden üçüncü döneme doğru pozitif bir seyir izlemekte, ardından azalıp beşinci dönemde dengeye ulaşmaktadır.

Enflasyon oranına verilen bir standart sapmalılık şoka karşılık faiz oranı ilk dönemden üçüncü döneme doğru pozitif bir seyir izlemekte ardından azalıp yedinci dönemden sonra dengeye ulaşmaktadır.

Tablo 9 Faiz Oranının Varyans Ayrıştırması

Period	S.E	D(Logenflasyon)	D(Logfaiz)
1	0.050327	4.317649	95.68235
2	0.061355	8.267899	91.73210
3	0.065204	12.35780	87.64220
4	0.066329	13.68549	86.31451
5	0.066581	13.86150	86.13850
6	0.066642	13.87713	86.12287
7	0.066659	13.88416	86.11584
8	0.066665	13.88856	86.11144
9	0.066666	13.88993	86.11007
10	0.066667	13.89017	86.10983

Tablo 10’da yer alan faiz oranı için hata öngörü varyansının ilk dönemde %4’ü enflasyondan %95’i kendisi tarafından

açıklanmaktadır. Onuncu dönemde ise %13’ü enflasyon %86’sı kendisi tarafından açıklanmaktadır.

Tablo 10 Enflasyon Oranının Varyans Ayırıştırması

Period	S.E	D(Logenflasyon)	D(logfaiz)
1	0.114587	100.0000	0.000000
2	0.119481	99.75795	0.242052
3	0.120214	99.21381	0.786187
4	0.120509	99.00325	0.996749
5	0.120545	98.97519	1.024811
6	0.120580	98.97284	1.027162
7	0.120583	98.97170	1.028300
8	0.120584	98.97099	1.029012
9	0.120584	98.97076	1.029237
10	0.120584	98.97072	1.029276

Tablo 11 'de yer alan enflasyon oranı hata öngörü varyansının ilk dönem %100'ü kendisi tarafından onuncu dönem %98 kendisi %1'i ise faiz tarafından açıklanmaktadır.

## 5. Sonuç

Bu araştırmada 2009:02 – 2021-07 arasındaki aylık enflasyon oranı ve faiz oranı logaritmik haliyle analize dahil edilmiştir. Değişkenler arasındaki ilişkiyi analiz etmek için değişkenlerin durağanlığı ADF, PP ve Zivot Andrews gibi birim kök testleriyle sınanmış ve değişkenler I(1) durağan bulunmuştur. Yapılan eşbütünlük analizi sonucunda faiz oranı ve enflasyon oranının uzun dönemde birlikte hareket ettikleri sonucuna ulaşılmıştır. Değişkenler arasında uzun dönemli ilişkinin bulunmasının ardından, bu ilişkinin yönü hakkında bilgi edinebilmek amacıyla değişkenlere Granger Nedensellik testi uygulanmış ve enflasyon oranından faiz oranına doğru tek yönlü bir nedensellik bulunmuştur. Bu nedensel ilişkinin ardından değişkenlere verilen bir standart sapmalık şoka karşı bir diğer değişkenin tepkisini ölçmek amacıyla etki-tepki analizi yapılmış ve bunun sonucunda enflasyon oranına verilen bir standart sapmalık şoka karşın faiz oranı ilk üç dönem pozitif iken yedinci dönemden sonra dengeye ulaşmaktadır. Faiz oranına verilen bir standart sapmalık şoka karşın enflasyon oranının tepkisi ise birinci dönemden üçüncü döneme doğru pozitif bir seyir izlemekte ardından azalıp beşinci dönemde dengeye ulaşmaktadır. Varyans ayırıştırma sonuçlarına göre ise faiz oranı için hata öngörü varyansının ilk dönemde %4'ü enflasyondan %95'i kendisi tarafından açıklanmaktadır. Onuncu dönemde ise %13'ü enflasyon %86'sı kendisi tarafından açıklanmaktadır. Enflasyon oranı için hata öngörü varyansında ise ilk dönem %100'ü kendisi tarafından onuncu dönem %98 kendisi %1'i ise faiz tarafından açıklanmaktadır.

Sonuç olarak enflasyon oranı ve faiz oranı ilişkisine bakıldığında faiz oranında meydana gelebilecek değişmelerin enflasyon oranı tarafından açıklanabileceği görülmüştür. Analiz sonucuna göre Türkiye ekonomisi için çalışmanın yapıldığı dönem itibari ile Fisher hipotezinin geçerli olduğunu ifade edebiliriz. Teoride ve literatürde yapılan birçok çalışma ile aynı bulgular geçerli olmakla beraber veri setinde ve uygulanan analiz yöntemlerinde yapılacak değişiklikler farklı sonuçlar ortaya çıkarabilecektir.

Türkiye ekonomisinde enflasyonla mücadele önemli bir yer tutmasından ötürü faiz oranlarında oluşabilecek değişimlerin

nominal faiz oranı özelinde enflasyonla ilişki içerisinde olması söz konusudur. Uzun dönemde reel faiz üzerine enflasyonun bir etkileşiminin olmaması uygulanan ekonomi politikaların yönünü ve yöntemini belirlemede etkin rol oynamaktadır.

## Kaynakça

- Ahmad, S. (2010) "The Long Run Fisher Effect in Developing Countries", *Studies in Economics and Finance*, 27 (4), pp.268-275.
- Altınok S. (2004) "İktisada Giriş", Atlas Kitabevi, 3. Baskı, Konya.
- Atgür, M. ve Altay, N. O., (2015) "Enflasyon ve Nominal Faiz Oranı İlişkisi: Türkiye Örneği (2004-2013)", *Yönetim ve Ekonomi: Celal Bayar Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 22(2),.
- Atkins, J. Frank ve COE, Patrik, J. (2002). "An ARDL Bounds Test of the Long-Run Fisher Effect in the United States and Canada", *Journal of Macroeconomics*, 24(2), ss. 255-266.
- Bayat, T. (2011). "Türkiye'de Fisher Etkisinin Geçerliliği: Doğrusal Olmayan Eşbütünlük Yaklaşımı", *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 38, ss.47-60.
- Bocutoğlu, E. (2011), *Makro İktisat*, 8. Baskı, Murathan Yayınevi, Trabzon.
- Bonham, C. (1991), "Correct Cointegration Test of the Long Run Relationship between Nominal Interest Rate and Inflation", *Applied Economics*, 23, pp.1487-1492.
- Boudoukh, J. and Richardson, M. (1993) "Stock Returns and Inflation: A Long Horizon Perspective", *American Economic Review*, 83, pp.1346-55.
- Christopoulos, D. K., Leon- L., Miguel A. (2007). "A Long- Run Non Linear Approach to The Fisher Effect", *Journal of Money Credit and Banking*, 39(2/3), ss. 543-559.
- Çakmak, E. vd. (2002), "Fisher Hipotezinin Türkiye Açısından Değerlendirilmesi 1989-2001", *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 16(3-4), 31-40.
- Çiçek, M. (2005), "Dezenflasyon Sürecinde Türkiye'de Enflasyonun Uzun ve Kısa Dönem Dinamiklerinin Modellenmesi", *Yönetim ve Ekonomi: Celal Bayar Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 12(1), 107-126.
- Çinko, L. (2017), "Türkiye'de Fisher Hipotezinin Geçerliliğinin Sınanması", *Sosyal Bilimler Araştırma Dergisi*, 6(1), 2017.

- Dickey, D. and Fuller, W. A. (1979) "Distribution of the Estimates for Autoregressive Time Series with a Unit Root" *Journal of the American Statistical Association*, 74: 427-431.
- Dinler, Z. (2008), *İktisat*, 2. Baskı, Ekin Kitabevi Yayınları, Bursa,
- Doğan, Ü. (1987), "Verimlilik Analizleri ve Verimlilik – Ergonomi İlişkisi", *İzmir Ticaret Borsası Yayını*, No: 31, 82-83.
- Dornbusch, R. ve Fischer, S. (1998), *Makro Ekonomi*, (Çev: Salih Ak, Erhan Yıldırım, Refai Yıldırım), McGraw Hill, New York.
- Durukan A. (1988), *Enflasyon İthali*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul Üniversitesi.
- Engle, R. and Granger, C. W. J. (1987) "Co-Integration and Error Correction: Representation, estimation and Testing" *Econometrica*, 55(2): 251-276.
- Ertürk, E. (1996), *Uluslararası İktisat Teori-Politika İktisadi Birleşmeler-Uluslararası Parasal İlişkiler*, Ekin Kitabevi Yayınları, Bursa.
- Fama, E. (1975) "Short Term Interest Rates as Predictors of Inflation", *American Economic Review*, 65, pp.269-282.
- Fisher, I. (1930). *The Theory of Interest: As Determined By Impatience to Spend Income and Opportunity to Invest It*, USA: Kelley Publishing.
- Gök A. (2018), *Türkiye İçin Fisher Hipotezinin Geçerliliğinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Trabzon, Mayıs.
- Granger, C. W. J. and Newbold, P. (1974). "Spurious Regressions in Econometrics", *Journal of Econometrics*, 2 (2): 111-120.
- Granger, C.W.J. (1969) "Investigating causal relation by econometric and cross-sectional method" *Econometrica*, 37, 424-438.
- Gujarati, D. N. (1999) *Temel Ekonometri*, (Çev. Ü. Şenesen ve G. G. Şenesen). İstanbul: Literatür Yayınları. Gül, E. ve Açıkalın, S. (2008) "An Examination of the Fisher Hypothesis: The Case of Turkey", *Applied Economics*, 40(24), pp.3227-3231.
- Hacıoğlu, V. ve Yerlikaya, Ö. (2014). "Fisher Hipotezi ve Beklentilerin Rolü", *İktisat Fakültesi Mecmuası*, 64(2), ss. 109-130.
- İncekara, A. Demez, S. ve Ustaoglu, M. (2012). "Validity of Fisher effect for Turkish economy: Cointegration analysis", *Procedia- Social and Behavioral Sciences*, 8th International Strategic Management Conference, İstanbul Üniversitesi, 396-405.
- Johansen, S. (1988) "Statistical Analysis of Cointegration Vectors" *Journal of Economic Dynamic and Control*, 12, 231-254.
- Johansen, S. and Juselius, K. (1990) "Maximum Likelihood Estimation and Inference on Cointegration with Application to the Demand for Money" *Oxford Bulletin of Economic and Statistics*, (52): 169-210.
- Karluk R. (2005), *Cumhuriyet'in İlanından Günümüze Türkiye Ekonomisi'nde Yapısal Dönüşüm*, Beto Yayın, İstanbul, 10. Baskı, Eylül
- Köse, N., Emirmahmutoglu, F., Aksoy, S. (2012) "The interest rate-inflation relationship under an inflation targeting regime: The case of Turkey", *Journal of Asian Economics*, 23, pp.476-485.
- Kurnaz, Ö. (2009), "Türkiye'de Enflasyon ve Büyüme İlişkisi 1987-2006 Dönemi", *Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi*, Adnan Menderes Üniversitesi-Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Küçükaksoy, İ., & Akalın, G. (2017). Fisher Hipotezi'nin Panel Veri Analizi İle Test Edilmesi: Oecd Ülkeleri Uygulaması. *Hacettepe Üniversitesi İktisadi Ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 35(1), 19-40.
- Lebe, F. ve Özalp, L. F. A., (2016), "Fisher Hipotezinin Alternatif Faiz Oranları ile Türkiye Ekonomisi Açısından Analizi", *Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 31(1).
- Mercan, M. (2013). Enflasyon Ve Nominal Faiz Oranları Arasındaki Uzun Dönem İlişkinin Fisher Hipotezi Çerçevesinde Test Edilmesi: Türkiye Örneği. *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 27(4), 368-384.
- Mishkin, F.S. (1992) "Is Fisher Effect For Real: A Re-examination of the Relationship between Inflation and Interest Rates", *Journal of Monetary Economics*, 30, ss.195-215.
- Mishkin, F.S. (1995) "An Empirical Examination of the Fisher Effect in Australia", *NBER Working Paper*, No: 5080.
- Nusair, S. A. (2008). "Testing for Fisher Hypothesis Under Regime Shifts: an Application to Asian Countries", *International Economic Journal*, 22, ss. 273-284.
- Orhan O. (1995), *Başlıca Enflasyon Teorileri ve İstikrar Politikaları*, Filiz Kitabevi, İstanbul.
- Parasız İ. (1997), *Banka ve Para Finansal Piyasalar*, Ezgi Kitabevi, Ekim, Bursa.
- Parasız, İ. (2009), *Para Banka ve Finansal Piyasalar*, 9. Baskı, Ezgi Kitabevi, Bursa.
- Paya, M. (2017), *Para Teorisi ve Para Politikası*, 4. Baskı, Filiz Kitabevi, İstanbul.
- Payne, J. and Ewing, B. (1997) "Evidence from Lesser Developed Countries on the Fisher Hypothesis: A Cointegration Analysis", *Applied Economics Letters*, 4, pp.683-687.
- Pelaez, R. (1995) "The Fisher Effect: Reprise", *Journal of Macroeconomics*, 17, pp.333-346.
- SAĞLAM, Y. (2018). Fisher Hipotezi'nin Fourier Yaklaşımı ile Testi: Gelecek-11 Ülke Grubu Örneği. *Journal of Yaşar University*, 13(52), 316-321.
- Seyidoğlu, H. (2013), *Uluslararası Finans*, 6. Baskı, Guzem Can Yayınları, İstanbul.
- Sloman J. (2004), *İktisat Makro*, (Çeviren: Ahmet Çakmak), Prentice Hall, New York.
- Subaşı D. (2005), *Enflasyonun Arima Modelleri ile Tahminlenmesi: 1994-2005 Türkiye Uygulaması*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul Üniversitesi.
- Şimşek, M. ve Kadılar, C. (2006) "Fisher Etkisinin Türkiye Verileri İle Testi", *Doğuş Üniversitesi Dergisi*, 7(1), ss.99-111.
- Tayfur, B. (2011) "Türkiye'de Fisher Etkisinin Geçerliliği: Doğrusal Olmayan Eşbütünlük Yaklaşımı", *Erciyes Üniversitesi İİBF. Dergisi*, Sayı:38, Haziran-Aralık, ss.47-60.
- Terzi Hatun ve Tütüncü Asiye, *Türkiye'de Üretici Fiyat Endeksi ve Tüketici Fiyat Endeksi Arasındaki İlişkinin İncelenmesi: ARDL Sınırlı Testi Yaklaşımı*, *Sosyoekonomi Dergisi*, 25.Sayı, 2017.
- Tunalı, H., & Erönel, Y. Y. (2016). Enflasyon Ve Faiz Oranı İlişkisi: Türkiye'de Fisher Etkisinin Geçerliliği. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 21(4), 1415-1431.

- Turgutlu, E. (2004) "Fisher Hipotezinin Tutarlılığının Testi: Parçalı Durağanlık ve Parçalı Koentegrasyon Analizi", Dokuz Eylül Üniversitesi İİBF. Dergisi, 19(2), ss.55-74.
- Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası (2004), Enflasyon Kitapçığı, TCMB Yayınları, Ankara.
- Türkiye İstatistik Kurumu (2008), "Fiyat Endeksleri ve Enflasyon-Sorularla Resmi İstatistikler Dizisi-3", <https://biruni.tuik.gov.tr/yayin/views/visitorPages/index.zul>, (31.03.2018).
- Unay C. (2001), Makro Ekonomi, Vipaş A.Ş. Yayın, Bursa.
- Ünsal, E. (2007), Makro İktisat, 7. Baskı, İmaj Yayınevi, Ankara.
- Üstünel, B. (1990), Makro Ekonomi, Ofset Yayıncılık, İstanbul.
- Wallace, M. and Warner, J. (1993) "The Fisher Effect and the Term Structure of Interest Rates: Tests of Cointegration", *The Review of Economics and Statistics*, 75, ss.320-324.
- Westerlund, J. (2005) "Panel Cointegration Tests of the Fisher Hypothesis", Lund University, Department of Economics Working Papers, 10, ss.1-34.
- Westerlund, J. (2008). "Panel Cointegration Tests of The Fisher Effect", *Journal of Applied Econometrics*, 23, ss. 193-233.
- Yılancı, V. (2009) "Fisher Hipotezinin Türkiye İçin Sınanması: Doğrusal Olmayan Eşbütünleşme Analizi", *Atatürk Üniversitesi İİBF. Dergisi*, 23(4), ss. 205-213.



## Kayısı Çekirdeği Yağından Kozmetik Sabun Üretimi

Hilmi Erten<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> Fırat Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, Matematik ve Fen Bilgisi Eğitimi Bölümü, Fen Bilgisi Eğitimi ABD. Elazığ/Türkiye, (ORCID: 0000-0002-7928-6448),  
[herten@firat.edu.tr](mailto:herten@firat.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 25 Nisan 2021 ve Kabul Tarihi 1 Eylül 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.927497)

**ATIF/REFERENCE:** Erten, H. (2021). Kayısı Çekirdeği Yağından Kozmetik Sabun Üretimi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (27), 625-628.

### Öz

Kayısı çekirdeği yağı değerli proteinler, vitaminler ve değişik mineraller içerir. Ayrıca biyolojik aktif maddeler, antimikrobiyal, antiseptik, antioksidant, esansiyel aminoasit bakımından zengindir. Bu değerli bileşenleri deri ile buluşturmak önemlidir. Yapısında düşük oranda kayısı çekirdeği yağı bulunduran sabunlar cild dostu kozmetik ürün olarak bilinirler. İçerisinde yağ barındıran sabunlar(superfatting) deri içinde faydalıdır. Bu çalışmada Elazığ'ın Baskil ilçesinde yetiştirilen kayısı çekirdeği yağlarından ilk kez sabun elde edilmiştir. Bu amaçla soğuk sıkım kayısı çekirdeği yağları alınıp kostik (sodyumhidroksit) ile oda şartlarında etkileştirilerek soğuk yöntemle içerisinde yağ barındıran kozmetik sabun üretildi.

**Anahtar Kelimeler:** Kayısı çekirdeği yağı, sabun, kozmetik ürün, soğuk yöntem.

## Cosmetic Soap Production from Apricot Kernel Oil

### Abstract

Apricot kernel oil contains valuable proteins, vitamins and various minerals. It is also rich in biologically active substances, antimicrobial, antiseptic, anti-oxidant, essential amino acids. It is important to combine these valuable ingredients with human body. Soaps that contain low apricot kernel oil in their structure are known as skin-friendly cosmetics. Soaps containing oil (superfatting) are beneficial in the skin. In this study, soap was obtained for the first time from apricot kernel oils grown in Baskil district of Elazığ for this purpose, cold pressed apricot kernel oils were taken and mixed with caustic (sodium hydroxide) under room conditions and cosmetics soap containing oil was produced by cold method.

**Keywords:** Apricot kernel oil, soap, cosmetics, cold method.

\* Sorumlu Yazar: [herten@firat.edu.tr](mailto:herten@firat.edu.tr)

## 1. Giriş

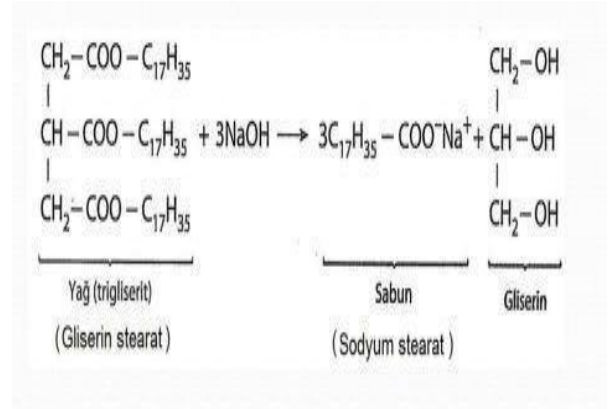
Sabun en temel temizlik maddelerinden birisidir. Sabunlar bitkisel ya da hayvansal yağlardan üretilir. Tarih boyunca insanlar vücut temizliği için kozmetik ürünlere önem vermişlerdir. Kozmetik tarihindeki en eski yumuşatıcılar, doğal olarak oluşan hayvansal yağlar ve bitkisel yağlardır. Güzel cild ve saç bakımı tüm dünyada birçok insanın arzusu olduğundan, güvenli kozmetik ürünlerin kullanılması kaçınılmazdır. Doğal ürünler kullanılarak hazırlanan doğal sabunun daha çevreci olması ve antioksidan bakımından zengin olması sentetik kimyasallar kullanılarak üretilen sabunlara umut verici bir alternatif olmuştur (Rambabu ve ark.2020).

Bitki bazlı, biyolojik aktif maddeler, antimikrobakteriyal ve antioksidan özellik gösteren, biyolojik olarak parçalanabilen ve yapay renklendirici / koruyucu içermeyen bitkisel antiseptik sabunların hazırlanması çevre dostu Yeşil Kimya ilkesi olarak bütün dünyada benimsenmiştir (Atolani ve ark.2016). Kayısı çekirdeği yağlarından sabun üretimi kayısı yetiştiren Türkiye, Mısır, Hindistan gibi ülkelerde önemli bir kozmetik endüstriyel alanı haline gelmiştir. Soğuk pres kayısı (Prunus armeniaca L.) çekirdeği yağı; karbonhidrat (%21), biyolojik aktif maddeler, A, B, C, E vitaminleri (%1.05-2.14) ve potasyum (570 mg/100g), demir (2.82 mg/100g), Ca (%1.8 mg/100g), Na (%35.2 mg/100g), Mg (%290 mg/100g), Zn (2.33 mg/100g) gibi mineraller bakımından zengindir (Alpaslan ve Hayta, 2016).

Kayısı çekirdeği yağı protein bakımından zengin olup linolenik asit (%0.1, omega-3), linoleik asit (%4-4.5, omega-6), arginin (%21.7-30.5), glutamik asit (%49.9-68), albümin (%84.7), glutelin (%3.54), lösin (%16.2-21.6) gibi önemli essansiyel yağ asitlerini içerir (Özkal ve ark.2005). Soğuk pres kayısı çekirdeği yağı β-karoten, tokoferol, fenolik bileşikler ve provitamin A gibi değişik biyolojik aktif maddeler içerir. Bu biyolojik aktif maddeler toksinlere karşı vücut direncini artırarak yaraların iyileşmesinde önemli rol oynarlar (Özkal ve ark.2005). Soğuk preslenmiş kayısı çekirdeği yağı, içerdiği stearik asit (%0.08-0.13), oleik (%60-70.9) ve linoleik asitler gibi besin açısından önemli yağ asitleri nedeniyle yenilebilir kaliteli bitkisel yağın iyi bir kaynağı olarak bilinir (Yılmaz ve Çelik, 2019). Kayısı çekirdeği yağı masaj yağı, sabun ve kese formülasyonlarının optimizasyonu için temel malzeme olarak asit değeri düşük, E vitamini yönünden zengin ve yüksek sabunlaşma değerine sahiptir (Maotsela ve ark.2019). Kayısı çekirdeği yağının, yaşlanmış cilt dahil tüm cilt tiplerine iyi geldiği bildirilmektedir (Sharma ve ark.2019). Bu değerli bileşenlerden dolayı kayısı çekirdeği yağı sabun üretiminde, ilaç ve koku sanayisinde de kullanılmıştır.

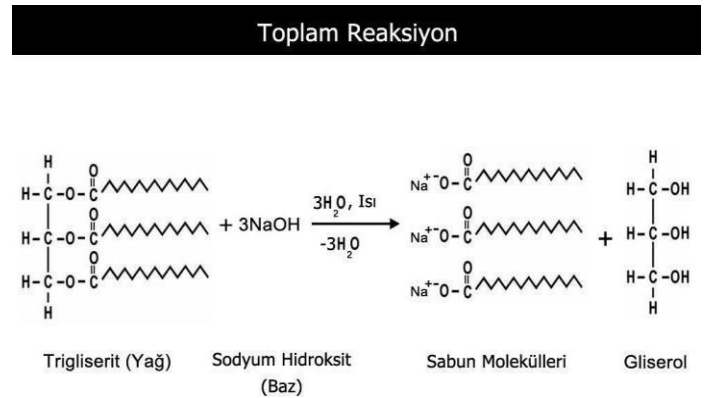
Sabun genel olarak uzun zincirli yağ asitlerinin alkali bazlarla reaksiyonundan elde edilen yağ asitlerinin tuzlarıdır. Sabunlar bitkisel ya da hayvansal yağlardan üretilir. Sabun üretiminde en çok Hindistan cevizi yağı, palm çekirdeği yağı, defne yağı, zeytin yağı, ayçiçeği yağı, mısır yağı, soya fasulyesi yağı ve hayvansal iç yağ olan donyağı, domuz yağı, ya da kemiklerden elde edilen yağlar kullanılmaktadır. Baz olarak sodyum hidroksit (NaOH veya kostik) ya da potasyum hidroksit (KOH) kullanılmaktadır. Yağların bu bazlar ile reaksiyonu sabunlaşma tepkimesi olarak tanımlanır. Yağ asitlerinin Na tuzları beyaz sabun, K tuzlarına arap sabunu olarak bilinir (Uyar, ve Aksoy, 2002). Sabunlaşma tepkimesi Şekil 1.'de gösterildiği gibidir.

e-ISSN: 2148-2683



Şekil 1. Sabunlaşma Tepkimesi

Sabunlaşma formülündeki hidrokarbon uçları zigzag şeklinde açık formülle de Şekil 2.'de verilmiştir.



Şekil 2. Sabunlaşma Tepkimesinin Zigzag Gösterimi

Sabunun uzun zincirli hidrokarbon ucu apolar veya hidrofobik (lipofilik ya da suyu sevmeyen), iyonik veya polar ucu ise hidrofilik (suyu seven)'dir.

### 1.1. Sabunlaşma Katsayısı (Sabunda Baz Oranı)

Sabun üretiminde bitkisel ve hayvansal katı ve sıvı yağlar kullanılır. Sabun üretimi soğuk ve sıcak yöntem olmak üzere iki yolla sentezlenir. Soğuk yöntemle sabun yapımında sodyum hidroksit, sıcak yöntemle sabun yapacak genelde potasyum hidroksit kullanılır. Fakat sodyum hidroksit her iki yöntem içinde kullanılır. Soğuk yöntemle sabun üretiminde yağların içerisindeki kıymetli proteinler, vitaminler bozulmadan sabunun içerisine aktarılmış olur.

Ayrıca Soğuk yöntemle sentezlenen sabunlar farklı trigliserit oranlarını koruduğundan farklı fiziksel özellikler ve oda sıcaklığında saklama süresinde önemli gelişmeler gösterirler (Maotsela ve ark.2019). Her yağın sabunlaşma katsayısı veya oranı birbirinden farklıdır ve ayrı sabunlaşma hesaplaması yapmak gerektirmektedir.

Tablo 1. Değişik Yağların Sabunlaşma Katsayıları

Yağ tipi	Sodyum Hidroksit(Sabunlaşma Katsayı)
Hindistan cevizi yağı	0.1910
Zeytinyağı	0.1353
Palm yağı	0.1420
Kakao Yağı	0.1378
Tatlı Badem Yağı	0.1367
Hint Yağı	0.1286
Ayçiçek Yağı	0.1358
Kayısı Çekirdeği Yağı	0.1378

Sabunlaşma reaksiyonunda bu yağların 1 gramına karşılık sabunlaşma katsayısı kadar baz alınır.

Örneğin 100g kayısı çekirdeği yağı alınacaksa sabunlaştırmak için 13.78 g baz alınır. Sabun üretiminde bazı çözmek için genellikle %33 oranında su alınır. Suyun içerisine baz, azar azar bırakılır. Sabun yapım aşamasında su ile karışan kostik yakıcı etkileri olmaktadır. Hafif bir kaşıntı ile başlar cildi tahriş edebilir. Çözünme ekzotermik olduğu için yüksek oranda ısı açığa çıkar ve tehlikelidir. Aynı zamanda su ile karıştırıldığında çıkan buhardan korunmak için çeker ocakta çalışılmalı ve muhakkak maske takılmalıdır.

## 1.2. Sabunda Yağ Oranı (Superfating seviyesi)

Superfating seviyesi, sabunun performansını artırmak için sabunun içerisinde bulunan sabuna dönüşmeyen yağ miktarıdır. İçerisinde yağ barındıran sabunlar deri içinde faydalıdır ve kozmetik ürün olarak bilinirler. Baz oranı yüksek tutulursa sert sabunlar, az tutulursa yumuşak sabunlar elde edilir. Genellikle %8 oranında baz eksik alınarak superfating seviyesi ayarlanmış olur. Bir diğer yolda genellikle sabun barlarını çok yumuşatmada nem kattığı için %5 oranında ek yağda kullanılır. Böylece içerisine yağ barındıran cild dostu kozmetik yumuşak sabunlar hazırlanmış olur(Sabunaria.com.2021).

Kayısı çekirdeği çerez olarak aşırı yenilirse siyanür zehirlenmelerine neden olabilir (Suchard ve ark.1998). Bu zararlı özelliğinden dolayı kayısı çekirdeğinden ziyade yağı soğuk yöntemle çıkarılarak gıda sanayisinde ve kozmetik ürün olarak doğal sabun yapımında kullanılmaktadır.

Bu çalışma Elazığ'ın Baskil ilçesinde yetiştirilen kayısı çekirdeği yağlarından soğuk yöntemle sabun üretilmesine dayanmaktadır. İçerisinde kayısı çekirdeği yağı içeren superfating seviyesi yüksek, cild dostu kozmetik sabun üretimi bu bölgede ilk kez tarafımızdan gerçekleştirilmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Sabun Sentezi

Kayısı çekirdeği yağını elde etmek için, Baskil ilçesi halk eğitim merkez müdürlüğü bünyesinde soğuk sıkım yağ çıkartma makinesi alındı. Bu yağlar alınıp pamuk bez ile

süzüldükten sonra 10 litrelik cam kaplara alındı. İçindeki artık posanın çökmesi için bir hafta süreyle bekletilerek dinlendirildi ve temiz yağ üstten alınarak sabun yapımına hazır hale getirildi. Sabunlaştırıcı olarak piyasada satılan kostik (sodyumhidroksit) kullanıldı. Köpük yapıcı olarak Hindistan cevizi yağı(%20-40) ve hint yağı(%3-5) kullanıldı. Koku için kayısı esansı (%0,1) kullanıldı. %3-5 oranında iyotsuz tuz kullanıldı. Renklendirici kullanılmadı. Kullanılan bileşenlerin tümü doğaldır (kostik hariç).

Soğuk pres kayısı çekirdeği yağı ile NaOH (kostik) soğuk yöntem ile etkileştirilerek sabunlaştırma işlemi gerçekleştirildi. Bu amaçla plastik bir kap içerisine 100g kayısı çekirdeği yağı alındı. Üzerine 33ml saf suda çözülmüş ve oda şartlarına kadar soğutulmuş 13 g NaOH içeren çözelti mekanik karıştırıcı ile karıştırılarak azar azar ilave edildi. Karıştırma işlemi oda şartlarında 1 saat süre ile devam ettirildi. 2 saat bekletildikten sonra içerisine doğal köpürtücü olarak eritilmiş 30g Hindistan cevizi yağı, 4g hint yağı eklendi. 3g tuz ile 1ml kayısı esansı ilave edilerek karıştırma işlemi kıvamına gelinceye kadar devam ettirildi. Kıvamlaşan sabun karışımı kalıplara döküldü. Kalıplarda 48 saat bekletildikten sonra çıkartılarak kurumaya bırakıldı.

Superfating seviyesi için üç farklı numune ile çalışmalar yapıldı. 100g kayısı çekirdeği yağı farklı miktarlarda 12,67g(%8 kostik oranı düşürülmüş) ,13g ve 13,7g kostik ile ayrı ayrı sabunlaştırıldı. 12.67g kostik içeren oranın superfating seviyesi yüksek yağ içerdiğinden ve bu yağ zerrecikleri sabunun içerisinde gözle görülebildiğinden dolayı çalışmamızı 13g kostik içeren (az yağ içeren) numune ile sabun sentezi gerçekleştirildi.

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Bu çalışmada, kayısı çekirdeği yağı farklı miktarlarda NaOH (kostik) ile etkileştirilerek superfating seviyesi farklı olan soğuk yöntem doğal sabunları sentezlendi. Aynı miktar kayısı çekirdeği yağı ile etkileşen kostik oranı azaltıldıkça içerisine yağ barındıran üç çeşit kozmetik yumuşak doğal sabunlar üretildi. Fakat halk eğitim müdürü ve çalışanları bu sabunları deneyerek deriyi daha yumuşak tutan superfating seviyesi iyi olan 13g kostik içeren sabun numunesini tercih ederek bu sabun oranı üretime başlandı. Elde edilen doğal sabun görselleri şekil 3'de verilmiştir.



Şekil 3. Kayısı Çekirdeği Yağından Üretilen Sabun Görselleri



Kayısı çekirdeği yağı değerli proteinler, vitaminler ve mineraller içerir (Özkal ve ark.2005; Alpaslan ve Hayta, 2016; Yılmaz ve Çelik, 2019; Maotsela 2019).

Bu çalışmada doğal köpük yapıcı maddeler kullanıldı. Köpürtücü olarak kullandığımız hindistan cevizi yağı ve hint yağı için çok değerli bir maddelerdir. Hindistan cevizi yağı, gıda endüstrisinde kullanımının ötesinde, hipokolesterolemik, antikanser, antihepatosteatotik, antidiyabetik, antioksidan, antimikrobiyal ve cildi nemlendirme özellikleriyle dikkat çekmiştir (Deen ve ark.2021). Hindistan cevizi yağı, cilt için de mükemmel bir masaj yağıdır. Hindistan cevizi yağı ayrıca sedef hastalığı, egzama gibi çeşitli cilt sorunlarının tedavisinde yardımcı olur (Vala and Kapadiya, 2014). Bu değerli bileşenlerin deri ile buluşması deri üzerinde olumlu etkiler gösterecektir. Yüksek oranda kayısı çekirdeği yağının bünyesinde bulunduran sabunlar cild dostu kozmetik ürünlerdir.

## 4. Sonuç

Doğal sabun cild hastalıklarını önler, cildi yumuşak tutar. Egzama ve mantar gibi cilt hastalıklarını iyi gelir. Kepeği, deri dökülmelerini ve saç dökülmelerini önleyici faktöre sahip olduğu söylenilmektedir. Doğal sabun saçları besler, yumuşak tutar, saç dökülmesini önler ve beyaz saçlara doğal güç vererek, siyahlaşmasına neden olmaktadır (Özkal ve ark.2005; Deen ve ark.2021; Femenia ve ark.1995).

Kayısı çekirdeği yağından soğuk yöntemle sabun üretimi gerçekleştirilmiştir. Soğuk yöntem kullanmamızın nedeni yağın içerisindeki değerli proteinleri bozmadan cilt ile temasını sağlamak ve maliyeti düşürmektir. Doğal omega-3 kalp ve damar hastalıklarına iyi geldiği bilinmektedir (Demirel ve ark.2021). Kayısı çekirdeği yağından üretilen sabunda bulunan omega-3 sabunlaşmadan kaldığından damar hastalıklarını önleyici etkiye sahiptir. Sabun üretiminde köpürtücü olarak genellikle ucuz kimyasal maddeler kullanılır. Fakat yaptığımız çalışmada çevre dostu yeşil kimya ilkesine uygun, sedef hastalığı, egzama gibi çeşitli cilt sorunlarının tedavisinde yardımcı özellik gösteren hindistan cevizi yağı ve hint yağı kullanmıştır. İçerisinde az oranda kayısı çekirdeği yağı ve hindistan cevizi yağı gibi değerli bileşenleri ihtiva eden, tamamen doğal, çevre dostu, cild besleyici özelliği olan sabun üretimi ekonomiye kazandırılmıştır.

Baskil halk eğitim müdürlüğü sabun üretim kurslarını hizmete geçirerek yöre kadınının sabun üretimine katkısını gerçekleştirmiştir. Böylece yöre halkının ekonomik yönden kalkınmasına öncelik etmişlerdir.

Baskil halk eğitim müdürlüğü soğuk sıkım yağ çıkartma makinelerini çoğaltarak yöre halkının kayısı çekirdeğinden yağ çıkartılmasına öncülük etmelidir. Sabun için diğer ham maddeleri tedarik ederek yöre halkına sunmalıdır ve üretilen sabunların satışına öncülük etmelidir.

## 5. Teşekkür

Sabun üretimi için gerekli araç-gereçleri temin eden Baskil halk eğitim müdürlüğüne ve kaymakamlığına teşekkürü bir borç biliriz.

## Kaynakça

Alpaslan, M. & Hayta, M. (2006). Apricot kernel: Physical and chemical properties. Journal of the American Oil Chemists'

- Society (JAOCS), Vol. 83, no. 5.
- Atolani, O., Olabiyi, E.T., Issa, A.A., Azez, H.T., Onoja, E.G., İbrahim, S.O., Zubair, M.F., Oguntoye, O.S. & Olatunji, G.A., (2016). Green synthesis and characterisation of natural antiseptic soaps from the oils of underutilised tropical seed. Sustainable Chemistry and Pharmacy 4, 32–39.
- Deen, A., Visvanathan, R., Wickramarachchi, D., Marikkar, N., Jayawardana, B.C. & Liyanage, R., (2021). Chemical Composition And Health Benefits Of Coconut Oil: An Overview. Journal Of The Science Of Food And Agriculture (J Sci Food Agric ), 101.
- Demirel, B., Bilsel, A.Y., Yeşilçubuk, N.Ş. (2021). Attitudes and Preferences of Consumers Towards Functional Foods Enriched with Omega-3 Fatty Acids, Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi Sayı (European Journal of Science and Technology, EJOSAT) 25, S. 485-492.
- Durmaz, G. & M. Alpaslan, M., (2007). Antioxidant properties of roasted apricot (Prunus armeniaca L.) kernel. Food Chemistry, Volume 100, Issue 3, Pages 1177- 1181.
- Femenia, A., Rossello, C., Mulet, A. & Canellas, J., (1995). Chemical Composition of Bitter and Sweet Apricot Kernels. J. Agric. Food Chem. 43:356–361.
- Maotsela, T., Danha, G. & Muzenda, E., (2019). Utilization of Waste Cooking Oil and Tallow for Production of Toilet “Bath” Soap. Procedia Manufacturing 35, 541–545.
- Özkal, S.G., Yener, M.E. & Bayındırlı, L., (2005). Mass transfer modeling of apricot kernel oil extraction with supercritical carbon dioxide. The Journal of Supercritical Fluids, Volume 35, Issue 2, Pages 119-127.
- Rambabu, K., Edathil, A.A., Nirmala, G.S., Hasan, S.W., Yousef, A.F., Show, P.L. & Banat, F., (2020). Date-fruit syrup waste extract as a natural additive for soap production with enhanced antioxidant and antibacterial activity. Environmental Technology & Innovation 20, 101153.
- Sabunaria.com.2021, Ankara.
- Sharma, A., Vaidya, D., Gupta, A. & Kaushal, M., (2019). Formulation and evaluation of wild apricot kernel oil based massage cream. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry, 8(1): 1017-1021.
- Suchard, J.R., Wallace, K.L. & Gerkin, R.N. (1998). Acute Cyanide Toxicity Caused by Apricot Kernel Ingestion. Annals of Emergency Medicine Volume 32, Issue 6, Pages 742-744.
- Uyar, T. & Aksoy, S., (2002). Genel Kimya 2 (Petrucci, R.H., Harwood, W.S., Herring, F.G. General Chemistry Principles and modern Applications, 8th Edition Prentice hall, 2002,) Palme Yayıncılık, Ankara.
- Vala, G.S., & Kapadiya, P.K., (2014). Medicinal Benefits of Coconut Oil (A Review paper). International Journal of Life Sciences Research, Vol. 2, Issue 4, pp: (124-12)
- Yılmaz, B. & Çelik, İ., (2019). Analysis Of Fatty Acid Compositions Of Apricot Kernel Oils for Cosmetic Purpose With Gas Chromatography-Mass Spectrometry Method. International Journal of Pharmacognosy 340 IJP, Vol. 6(10): 340-346.



## Derin Öğrenme Vasıtasıyla Masa Tenisi Topu Takibi

Erman Havuç<sup>1</sup>, Şeyma Alpak<sup>2</sup>, Gözde Çakırel<sup>3</sup>, Mehmet Kadir Baran<sup>4\*</sup>

<sup>1\*</sup> Marmara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-5006-2937), [ermanhavuc@gmail.com](mailto:ermanhavuc@gmail.com)

<sup>2</sup> Marmara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-0903-2140), [seymaalpak@gmail.com](mailto:seymaalpak@gmail.com)

<sup>3</sup> Marmara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-9612-2245), [gozdecakirel@gmail.com](mailto:gozdecakirel@gmail.com)

<sup>4\*</sup> Marmara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-7973-2794), [crom.baran@gmail.com](mailto:crom.baran@gmail.com)

(İlk Geliş Tarihi 24 Şubat 2021 ve Kabul Tarihi 8 Ağustos 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.885795)

**ATIF/REFERENCE:** Havuç, E. Alpak, Ş., Çakırel, G. & Baran, M. K. (2021). Derin Öğrenme Vasıtasıyla Masa Tenisi Topu Takibi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (27), 629-635.

### Özet

Bilgisayarlı görü teknolojisi 1960'lı yıllardan itibaren gelişmeye başladı ve günümüzde bu alanda oldukça ilerleme katedildi. Bugün gerçek zamanlı görüntüler üzerinde arabalar, insanlar gibi farklı hareket halinde olan nesnelere takip edilebilmektedir. Fakat doğrusal olmayan yörüngelerde ve çok hızlı hareket eden küçük cisimlerin tespiti ve takibi çoğu durum için daha doğrusal, normal hızlarda hareket eden büyük cisimlere göre çok daha zor olmaya devam ediyor. Bu tip nesnelere takibi için Kalman filtresi, parçacık filtresi, bulanık mantık ve Gaussian modellemesi gibi farklı metodlar uygulanmıştır. Fakat son on yıl içinde evrimsel sinir ağları kullanan yeni metodlar bu klasik metodlara alternatif olarak ortaya çıkmış ve birçok alanda büyük bir başarıyla uygulanmışlardır. Bu çalışmada, evrimsel sinir ağlarını kullanarak pinpon topu gibi doğrusal olmayan yönlerde ve yüksek hızlarda hareket eden küçük cisimlerin gerçek zamanlı tespiti ve yardımcı algoritmalarla nesne takibinin yapılabilmesini sağlayan bir sistem geliştirilmiştir. Evrimsel sinir ağı temelli bir nesne tespit algoritması olan YOLO, pinpon topunun farklı renk ve video üzerinde değişen biçimleriyle birlikte veri seti hazırlanarak eğitilmiş ve test edilmiştir. Büyük oranda başarı sağlandığı görülmüş, bu tür nesnelere evrimsel sinir ağı temelli algoritmalar ile gerçek zamanlı tespitinin ve takibinin mümkün olduğu görülmüştür. İleride yapılacak olan çalışmalarda masa tenisi oynayabilecek bir robot için araştırma yapılması planmaktadır. Bu nedenle, tespiti ve yardımcı algoritmalarla takibi yapılan pinpon topunu bir işaretçi ile sürekli olarak işaret eden 2 eksenli servo motor kullanan bir robot kol inşa edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Bilgisayarlı görü, Nesne tespiti, Nesne takibi.

## Ping-Pong Ball Tracking Through Deep Learning

### Abstract

Computer vision technology has been constantly evolving from 1960's on, and a lot of progress has been made in this field since that date. Today, different moving objects such as cars and people can be tracked on real-time images. However, the detection and tracking of small objects moving in nonlinear trajectories and at high speeds is still more challenging compared to large objects moving in more linear and slower speeds. Previously, different methods such as Kalman filters, particle filters, fuzzy logic and Gaussian modeling have been applied to the problem tracking such objects. But, in the last ten years, new methods using convolutional neural nets emerged as alternatives to these classical methods and they were applied to various problems with great success. In this study, a convolutional neural network-based system will be developed which enables the real-time detection and tracking of a fast-moving small object, such as a ping-pong ball. YOLO, which is a neural network-based object detection algorithm, is trained on the images of fast-moving ping-pong balls of various colors, where all the distortions accompanying fast moving objects like motion blur are present. For this purpose, a new training set is created. A high success rate is achieved in detecting and tracking the ping-pong ball, and it has been observed that real-time detection of such objects is possible with convolutional neural network-based algorithms. In future, this research is planned to be extended to a robot that can play table tennis. For this purpose, a two degree of freedom robot arm using 2 servos has been built, which continuously points the ping-pong ball with a pointer as it travels.

**Keywords:** Computer vision, Object detection, Object tracking.

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

## 1. Giriş

Bu çalışmada, pinpon topunun gerçek zamanlı olarak evrimsel sinir ağları kullanılarak tespitini ve takibini yapan ve 2 eksenli bir robot kolu yardımıyla topun yerini işaret eden bir sistem geliştirilecektir. Bir kamera ile belirli bir açıdan pinpon masası kaydı canlı olarak bilgisayara aktarılacak, bilgisayar üzerinde topun koordinatları hesaplanacak ve sonuçlar anlık olarak robot koluna iletilip robot kolunun hareketi sağlanacaktır. Pinpon topunun tespiti ve takibi diğer çoğu senaryoya kıyasla topun doğrusal olmayan yönlerde ve yüksek hızlarda hareketinden dolayı ve oldukça küçük bir nesne olması dolayısıyla daha zordur.

Bilgisayarlı görü teknolojisi günümüzde birçok alanda kullanılmaktadır. Askeri alanda düşman askerlerinin ve araçlarının tespit edilmesi, tıbbi alanda hastaların sağlık durumlarının tespit edilmesi, film ve görüntü alanında otomatik restorasyon yapılması, sivil alanda polis gücüne yardımcı uygulamalarda yer alması, otonom araçlarda çeşitli görevler yüklenilip yürütülmesi gibi çeşitli alanlarda ve uygulamalarda yardımcı rol üstlenmektedir. İlk olarak 1960'lı yıllarda yapay zekâ alanı dahilinde geliştirilmeye başlanmıştır. Renk karşılaştırmaları, kenar bulma algoritmaları, çeşitli görüntü modellemeleri gibi temel dijital görüntü işleme algoritmaları kullanarak verilen görüntüdeki nesnelere ya da olayların anlandırılması üzerine çalışılmıştır (Szeliski, 2011). Günümüzde video üzerinden hareket tespiti, hareket takibi, nesne tanımlama, görüntü veya görüntüleri kullanarak 3 boyutlu modellemeler çıkarma gibi birçok farklı konuda geliştirilmiştir ve gelişmeye devam etmektedir.

Robotlar ile bilgisayarlı görü günümüzde birçok noktada beraber kullanılmaktadır. Uydulara ve gezegenlere yollanan arazi araçları, kayan şeritler, otonom araçlar, ameliyatlara için tasarlanmış robot kollar gibi bilimin ve endüstrinin temel noktalarında robotlar ve bilgisayarlı görü teknolojileri iş birliği içerisinde (Corke, 2017).

Bilgisayarlı görüde, hareketli bir nesnenin tespit edilebilmesi ve hareket takibinin yapılabilmesi kullanılan birçok alan için oldukça önemlidir. Bu görev için farklı algoritmalar geliştirilmiştir. 1960'lı yıllarda geliştirilen Kalman Filtresi, bu alanda en yaygın algoritmalarından biridir. Sistemin önceki durumlarına göre bir Gaussian matematiksel model oluşturarak, sistemin sonraki hareketlerini öngörmeye çalışmaktadır (Simon, 2006). Takip edilen nesne ne kadar doğrusal olmayan bir yolda hareket ederse, tahmin o kadar zorlaşır. Bir başka yöntem olan parçacık filtresi, Gauss tipi olmayan süreçleri ve dağılımları içeren Monte Carlo yöntemlerini kullanır (Branko Ristic, 2003). Birçok gerçek yaşam senaryosunda Kalman Filtresi'nden daha iyi sonuç vermesine karşın, çoğu durumda daha fazla işlem gücü gerektirmektedir ve hareket takibinin başlangıcında, takip edilecek nesnenin tanıtılması gereklidir. Hareket takibini hedef alan bu algoritmaların takip edilen nesnenin farklı hızları ya da nesnenin doğrusal olmayan hareketleri nedeniyle hata payları ve dolayısıyla nesnenin izini kaybetme olasılıkları artmaktadır.

Pinpon topu şekli itibarıyla dairesel bir görüntü verir. Bilgisayarlı görü alanında şimdiye kadar kullanılan Hough dönüşümü gibi farklı daire tespit algoritmaları geliştirilmiştir (Rafael C. Gonzalez, 2017). Fakat bu algoritmalar ortamdaki ışığa bağlı olarak topun renginin arkaplandaki farklı nesnelere karışmasına ve daire tespit algoritmasının hatalı sonuç vermesine

yol açabilmektedir. (P. R. Kamble, 2019) Normal bir masa tenisi maçında top çok hızlı hareket edeceği için görüntü "yılanvari" bir şekil almakta, daire tespit algoritmasının yanılması sebeptir. Ayrıca çevredeki farklı dairesel nesnelere daire tespit algoritmasını yanıltmakta, topun olması gerektiğinden başka bir konumda bulunmasına yol açmaktadır. Bu hatalarla karşılaşmaması için arkaplanın düz bir renkle kaplanması, ortamdaki ışık seviyesinin ve ışık renginin sabit tutulması ve topun hızının görüntüde eliptik şekil alacak kadar arttırılmaması düşünülmüş, fakat gerçek hayat koşullarından oldukça uzaklaştığı için bu fikirden vazgeçilmiştir.

Masa tenisi topu takibi için daha önce yapılan çalışmalarda birçok değişik algoritma önerilmiştir. Literatürde Kalman filtresi (G. Chen, 2013) (P. R. Kamble, 2019), parçacık filtresi (Y. Huang, 2008), bulanık mantık algoritması (Hu Su, 2013), basit Gaussian modellemesi (J. Liu, 2014) gibi farklı algoritmalar kullanılmış ve bu farklı algoritmalar harmanlanıp optimum sonuç elde edilmeye çalışılmıştır.

Bu çalışmada yukarıda bahsedilen sorunların önüne geçilebilmesi için günümüzde oldukça popüler olan yapay sinir ağı bazlı algoritmalar göz önüne alınmıştır. Evrimsel sinir ağı kullanan bazı bilgisayarlı görü algoritmaları, hali hazırda bazı modifikasyonlarla nesne tespiti için de kullanılabilir. Bu projede, farklı nesne tespit algoritmaları karşılaştırılmış, gerçek zamanlı ve anlık nesne tespiti ve takibi yapılacağından evrimsel sinir ağı bazlı algoritmalar arasından literatüre ilk defa 2016 yılında giren YOLO adlı algoritma tercih edilmiştir (J. Redmon, 2016). YOLO yukarıda bahsedilen ve klasik algoritmaların performansını etkileyen arkaplan ve ışıklandırma gibi problemlerden daha az etkilenmektedir. Topun görüntüsünün alabileceği değişik formlar (yavaş hareket sırasında dairesel form, hızlı hareket sırasında bulanık yılanvari form) YOLO'ya ayrı ayrı öğretilbileceği için de algoritmanın güvenilirliği artmaktadır.

## 2. Materyal ve Metod

### 2.1. Sistem Bileşenleri

#### 2.1.1. YOLO

Nesne tespiti ve takibi yapılabilmesi için yapay sinir ağı merkezli bir algoritmanın topun hızına bağlı olarak topun şeklinde ve ortam koşullarına bağlı olarak topun renginde meydana gelebilecek farklılıkları göz önüne alarak dijital görüntü işleme alanında kullanılan daire tespit algoritmalarından daha iyi sonuç vereceği anlaşılmıştır. Bu nedenle geliştirilmiş evrimsel sinir ağı (CNN) bazlı algoritmalar araştırılmıştır.

R-CNN algoritması verilen veri setine bağlı olarak görüntü üzerinde nesnenin bulunabileceği muhtemel bölgeleri belirleyerek bölgeler üzerinde CNN işlemleri yürütmektedir (Aggarwal, 2018). Birden fazla bölgede CNN algoritması yürütüldüğü için bu algoritma gerçek zamanlı senaryolar için oldukça yavaş kalmaktadır. Fast R-CNN ve Faster R-CNN algoritmaları her ne kadar R-CNN algoritmasının hızlandırılmış versiyonu olsalar da YOLO hız ve tespit oranıyla ön plana çıkmaktadır.

Bu çalışmada topun tespit edilebilmesi ve takip edilebilmesi için YOLO (You Only Look Once) algoritması kullanılmıştır. YOLO algoritması da R-CNN temelli algoritmalar gibi CNN temelli bir algoritma olsa da görüntü üzerinde birden çok CNN işlemi yapmak yerine tek seferde bu işlemi gerçekleştirip çok

hızlı sonuçlar alınmasını sağlamaktadır (J. Redmon, 2016). YOLO algoritmasının bir alt sürümü olan YOLO-tiny ise daha az evrişimli katman kullanarak daha hızlı fakat doğruluk payı daha az sonuç vermektedir.

Bu projede YOLO algoritmasının YOLOv3 versiyonunun YOLOv3-tiny sürümü kullanılacaktır. Bunun sebebi sadece pinpon topunun tespitinin yapılması ve daha kompleks nesnelere kıyasla pinpon topunun basit yapısı ve tek renkli olmasıyla daha kolay bulunabilmesidir. Masa tenisi maçlarında, top oldukça hızlı olabilmektedir. Bu nedenle algoritmanın gerçek zamanlı çalışması için doğruluk payından bir miktar fire verilmesi gerekmiştir.

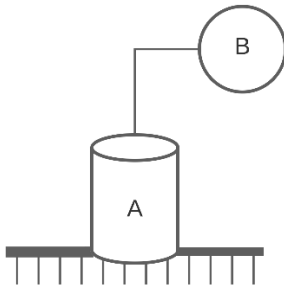
### 2.1.2. Kamera

Bu çalışmada YOLO algoritmasının yürütülmesi için özelleştirilmiş bir kamera kullanılmıştır. Bilgisayarlı görü ve dijital görüntü işleme için özelleştirilmiş olması, çözünürlüğü, görüntü kalitesi, renk skalası, görüş açısının değiştirilebilmesi gibi özelleştirilebilir bir yapıda olması görüntü üzerinde optimum sonucun bulunabilmesi için modifikasyonların önünü açarak kullanım kolaylığı sağlamıştır. Böylece, kamera üzerinde yapılacak gerekli parametre değişimleri ile YOLO performansı arttırılabilecek, ağ üzerinde sürekli olarak aktarım yapılan görüntünün çözünürlüğü darboğaz oranına göre değiştirilebilmiştir.

Çalışmada kullanılacak kameranın konumu, açısı ve görüş açısı, robot kolun hareketlerinin hesaplanması ile doğrudan bağlantılıdır. Algoritma topu kameranın algoritmayı beslediği görüntü üzerinde bulacak, robot kola iletilmesi gereken sinyaller bu görüntü üzerinde bulunan topun koordinatlarına göre hesaplanmıştır. Bu nedenle, kameranın bulunduğu topun konumu ile robot kolun işaret edeceği nokta arasındaki farkın az olması için kamera ile robot kol birbirine yakın yerleştirilmiştir.

### 2.1.3. Robot Kol

Bu çalışmada kullanılacak olan robot kol iki eksen üzerinde hareket edecektir. Şekil 1'de görülebileceği üzere eksenlerden biri masa tenisi masasına dik şekilde 180° içerisinde hareket etmektedir. Diğeri ise masa tenisi masasına paralel şekilde 180° açı içerisinde hareket etmektedir. Böylece masa tenisi masasının orta kenarına yerleştirilen robot kol, topun hareketlerini masa üzerinde takip edebilmektedir.

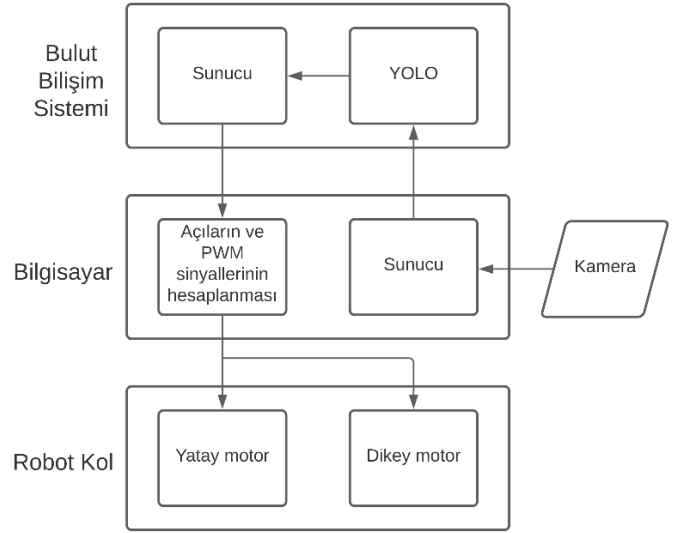


Şekil 1. Robot kolun şeması. Silindir ve daire servo motorları temsil etmektedir. A motoru robot kolun yatay eksenindeki hareketini, B motoru dikey eksenindeki hareketi sağlamaktadır.

Robot kolda eksenleri oluşturan ve hareket kabiliyetini sağlayan motorlar olarak servo motorlar tercih edilmiştir. Servo motorlar hareket kontrolünün yapılabildiği motor düzenekleridir. DC motorlardan farklı olarak, manyetik alan vektörü ile sargı akım vektörünü dikkate alarak  $-90^\circ$  ile  $+90^\circ$  arasındaki

hareketinin geri dönüş sinyalini kontrolcüsüne iletebilmektedir. Böylece motor istenen açıya hareket ettirilebilir. Motorun istenilen açıya hareket ettirilebilmesi için PWM (Sinyal Genişlik Modülasyonu) sinyallerine ihtiyaçları vardır (Paul Scherz, 2016). PWM sinyalleri kare dalgalar şeklindedir ve cihazlara verilen gücün ayarlanabilmesi için anahtar görevinde kullanılır. Bu çalışmada MG90S model servo motorlar kullanılmıştır.

Robot kolun eksenlerini servo motorlar oluşturmuştur. Servo motorlardan biri masa tenisi masasına yatay konumlandırılmış, böylece masa tenisi masasına paralel hareket kabiliyeti sağlanmıştır. Dik yerleştirilecek motorun üstünde bulunmakta olan dikey ekseninde hareket kabiliyetini sağlayacak olan servo motor ise masa tenisi masasına dik konumlandırılmıştır. İki servo motor birbirlerine hareket kabiliyetlerinin kısıtlanmadığı bir şase ile bağlıdır. Dikey ekseninde hareket kabiliyetini sağlayan servo motora bir işaretçi yerleştirilmiştir. Böylece robotun topun konumunu ne kadar doğru gösterdiği anlaşılabilmiştir.

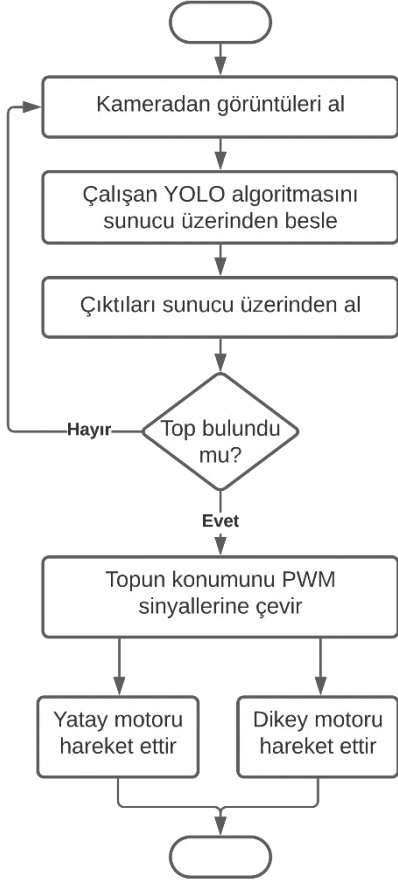


Şekil 2. Sistem bileşenlerinin bütün halinde görünümü ve birbirleriyle iletişimi

## 2.2. Sistem Mimarisi

Masa tenisi masasına robot kolun bulunduğu konumun üzerinde yerleştirilen kamera pinpon topunu anlık olarak kaydetmektedir. Alınan görüntü sürekli olarak Google COLAB adındaki bulut bilişim sisteminde çalışan ve uzak bir makinede yürütülen YOLO algoritmasına aktarılmaktadır. YOLO algoritması fotoğraf ve video formatlarında çalışabildiği gibi ağ üzerinden anlık olarak gelen yayın formatları üzerinde de yürütülebilmektedir. Algoritma, görüntülerden oluşan video ya da yayın dosyasındaki bütün görüntüler üzerinde aynı işlemi yaptığından dosyanın bütünlüğü, videonun eksiksiz olma zorunluluğu söz konusu değildir. Bulut bilişim sisteminde yürütülen algoritma, topun yatay ve dikey koordinatlarını, doğruluk oranını, kaç tane top bulunduğunu ve anlık saniye başına kare sayısını anlık çıktı olarak üretmektedir. Alınan bu çıktılar sürekli olarak yine bulut bilişim sistemi üzerinde bulunan bir dosyaya yazılmaktadır. Bu dosya sürekli olarak robot kolun bağlı bulunduğu ana bilgisayara gönderilmektedir. Bilgisayara anlık olarak gelen çıktı ile topun koordinatları bilinmekte, eğer hata sonucu ya da bilinçli olarak yapılan bir olay sonucu görüntüde birden fazla top bulunduğu takdirde daha önceden takibi yapılan topun hatasız takip edilmesine devam

edilmesi için ayrı bir algoritma yürütülmektedir. Görüntüdeki topun konumu kesin olarak kararlaştırıldıktan sonra ise robot kolun motorlarının beslenebilmesi için gereken açı hesaplama işlemi gerçekleştirilir. Robot kolun motorlarının hareketini sağlayacak beslemenin yapılabilmesi için gereken açı değerleri hesaplandıktan sonra motorlara açı değerleri PWM sinyallerine çevrilerek iletilir ve robot kolun hareketi sağlanır. İşleyiş Şekil 3'te net olarak görülebilmektedir.



Şekil 3. Sistem mimarisinin iş akış diagramı

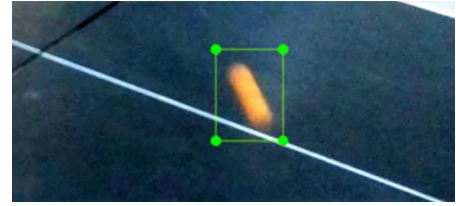
## 2.3. Teknik Yaklaşım ve Uygulama Detayları

### 2.3.1. Veri Setinin Hazırlanması

Bütün yapay sinir ağı algoritmalarında olduğu gibi YOLO algoritmasının da eğitilmesi gerekmiştir. Çalışmamız sırasında ilk başta veri seti olarak çeşitli sporlarda kullanılan farklı topların bulunduğu Google Open Images Dataset V4 isimli veri setinin kullanılması düşünülmüş, fakat diğer topların pinpon topuna benzememesi nedeniyle bundan vazgeçilmiştir. (Open Images Dataset, 2020)

Telefon kameraları ve dijital kameralar kullanılarak pinpon topunun durağan halinin fotoğrafları çekilmiştir. Pinpon topunun farklı renklerde mevcut olabilmesi nedeniyle beyaz, sarı ve turuncu renkteki pinpon topları kullanılmıştır. Masa tenisi maçlarında pinpon topu görüntülere her zaman dairesel biçimde yansımamaktadır. Hızına bağlı olarak dairesel şekli eliptik şekle dönüşebilmekte ve bulanıklaşabilmektedir (motion blur). Masa tenisi masasına çarptığı anda görüntü yakalanır ise V şeklide bir biçim elde edilebilmektedir. Bu nedenle telefon kameraları kullanılarak bütün bu olası durumları kapsayan birçok masa tenisi maçı videosu çekilmiştir.

Bu videolar daha sonra bilgisayar ortamında çerçevelere ayrılmıştır. İnternet üzerinde bulunan profesyonel masa tenisi maç videoları da çerçevelere bölünmüş ve veri setine eklenmiştir. Böylece pinpon topunun video içerisinde oluşturabileceği bütün biçimlerin veri setine eklendiğinden emin olunmuştur. Farklı çözünürlüklerde videolar üzerinde veri seti oluşturulmuştur. Bu sayede kamera kaynaklı sorunların önüne geçilmeye çalışılmıştır. Pinpon topunun içerisinde bulunmadığı, negatif görüntüler de veri setine eklenmiştir. Negatif görüntüler sıradan manzara, şehir ya da farklı nesnelerin görüntülerinden ve masa tenisi maçı sırasında topun görüntüde olmadığı durumlardan oluşturulmuştur. Böylece algoritmaya topun bulunduğu görüntüler ve topun bulunmadığı görüntüler aynı veri seti içerisinde verilmiş, algoritmanın doğruluk payının artırılması amaçlanmıştır.



Şekil 4. Etiketleme işleminden bir örnek

Çekilen fotoğraflardan, yakalanan videolardan ve internette edinilen videolarla birlikte yaklaşık 21,000 farklı pinpon topu görüntüsü ve negatif görüntü elde edilmiştir. Oluşturulan veri seti YOLO formatına göre pinpon topunun içerisinde olduğu kutular oluşturulacak LabelImg programının yardımıyla Şekil 4'te bulunan örnek etiketleme işlemi gibi etiketlenmiştir. YOLO formatı görüntü üzerinde bulunan nesnenin sınıfı, nesnenin orta noktasının piksel cinsinden X ve Y koordinatları ve nesnenin içinde bulunduğu kutunun piksel cinsinden genişlik ve yüksekliğinden oluşan, her satırda görüntüde bulunan diğer nesnelerin bahsedilen bilgilerinin yer aldığı bir formattır.

### 2.3.2. Algoritmanın Eğitilmesi

Hazırlanan veri seti görüntülerden ve etiket dosyalarından oluşmaktadır. Veri setinin algoritmaya girdi olarak verilebilmesi için dosyaların bulunduğu konumları, nesne sınıfı sayısını, nesnelerin adını, öğrenim ve test görüntülerinin ayrı konumlarını içeren bir yazı dosyası hazırlanmıştır. YOLO algoritması öğrenim süresi boyunca sürekli kendini yinelemektedir. Her yinelemenin sonunda öğrenimini test görüntüleriyle test edip hata oranı ortaya koymaktadır. Bu nedenle oluşturulan veri setinin %80'i öğrenim için, %20'si ise test işlemleri için ayrılmıştır. Test görüntülerinin ise %75'i pinpon topunun içerisinde bulunduğu pozitif görüntülerden, %25'i ise pinpon topunun bulunmadığı negatif görüntülerden elde edilmiştir.

YOLO algoritması hazırlanan veri setini daha hızlı öğrenmek ve çalıştırılma aşamasında daha hızlı çıktı vermek için grafik işlemci birimi kullanılabilmesini sağlamaktadır. Grafik işlemci biriminin işlem gücüne dayalı olarak öğrenme ve uygulama hızı değişmektedir. Bu nedenle bu çalışmada Google COLAB adındaki bulut bilişim sistemi üzerinde yer alan Nvidia TESLA P-100 adlı grafik işlemci birimi kullanılmıştır.

Algoritmanın daha az evrişimli katman kullanan versiyonu YOLO-tiny sürümü kullanılmıştır. Algoritmanın normal versiyonu 74 evrişimli katman kullanırken, YOLO-tiny sürümü ile birlikte 15 evrişimli katman kullanılmıştır (Bochkovskiy, 2020). Sadece tek bir sınıfa ait nesne tespit edileceği ve bu

nesnenin diğer nesnelere kıyasla daha basit bir yapıda olması nedeniyle YOLO-tiny sürümünün gerçek zaman üzerinde daha hızlı sonuç vereceği düşünülmüştür.

21,000 farklı görüntü içeren veri seti Nvidia TESLA P-100 grafik işlemci biriminde yaklaşık 7 saatte işlenmiş ve algoritma tarafından öğrenilmiştir. Öğrenme sırasında algoritmanın her yineleme sonucunda ortaya koyduğu hata oranı eğitim süresi boyunca giderek düşmüş, 6 saat 30 dakika sonunda hata payı %0.17 seviyesine indirgenmiştir. 30 dakika boyunca algoritma bu seviyenin altına inememiş, bu nedenle öğrenim durdurulmuştur.

### 2.3.3. Algoritmanın Uygulanması

Algoritma çalıştırılırken kameradan gelen anlık görüntüde arkaplanda bulunan ya da kisten algoritmanın hata vermesini sağlamak için konulmuş pinpon topuna benzeyen ya da kısa zaman aralığı içinde doğrusal olmayan hareket yaparken yakalanan ve hızlı hareket eden pinpon topunun oluşturduğu biçimlere benzeyen nesnelere pinpon topu olarak algılayabilmektedir. Bu sorunun önüne geçebilmek için her görüntü işlendikten sonra algoritma tarafından sağlanan doğruluk oranı, %25 ve üzerinde olacak şekilde ayarlanmış, sadece bu oranın üzerindeki çıktılar alınmıştır.

Masa tenisi masasından anlık olarak kayıt alacak olan kameradan gelen görüntülerle bir yayın oluşturulmuştur. Bunun sebebi pinpon topunun tespiti için kullanılan algoritmanın bir bulut bilişim sistemi üzerinde çalışacak olmasıdır. Oluşturulan yayın sayesinde algoritma ağ üzerinden anlık görüntüleri yakalayabilecek ve işleyebilecektir. Kameradan gelen görüntüler algoritmanın da üzerinde çalıştığı bulut bilişim sistemi üzerinde çalışan bir sunucuya gönderilmektedir. Sunucu gelen görüntüleri bir dosya üzerinden algoritmaya girdi olarak vermektedir.

Algoritma görüntü üzerinde tespit ettiği topun ya da topların merkez koordinatlarını X ve Y şeklinde piksel cinsinden çıktı olarak vermektedir. Çıktı, kameranın bağlı bulunduğu ve robot kolun sürüleceği bilgisayar üzerinde çalıştırılan farklı bir sunucuya yayın yapılmaktadır. Böylece kamera ile algoritma arasında iletişim sağlanmıştır.

Algoritma görüntüde bulunan bütün pinpon toplarını yakalamakta ve koordinatlarını çıktı olarak vermektedir. Bir görüntüde aynı anda birden fazla top bulunması ya da hata sonucu başka bir nesnenin top olarak algılanması halinde, koordinatları ve benzerlik oranları robot kolun sürüleceği bilgisayara iletilecektir. Bu nedenle takip edilen pinpon topunun konumu yanlış algılanabilecek, görüntüdeki diğer top ya da topları takip etmeye başlayabilecektir. Bu sorunun önüne geçilebilmesi için Şekil 5 üzerinde de görülebileceği gibi eğer birden fazla top varsa bir önceki görüntüde bulunan topun konumuna en yakın top seçilmektedir. Böylece zaten takip edilmekte olan top takip edilmeye devam etmekte, diğer topları ya da hata sonucu top olarak tespit edilen nesnelere gözardı edilmektedir.

### 2.3.3. Motor Açılarının Hesaplanması ve Robot Kolun Hareket Ettirilmesi

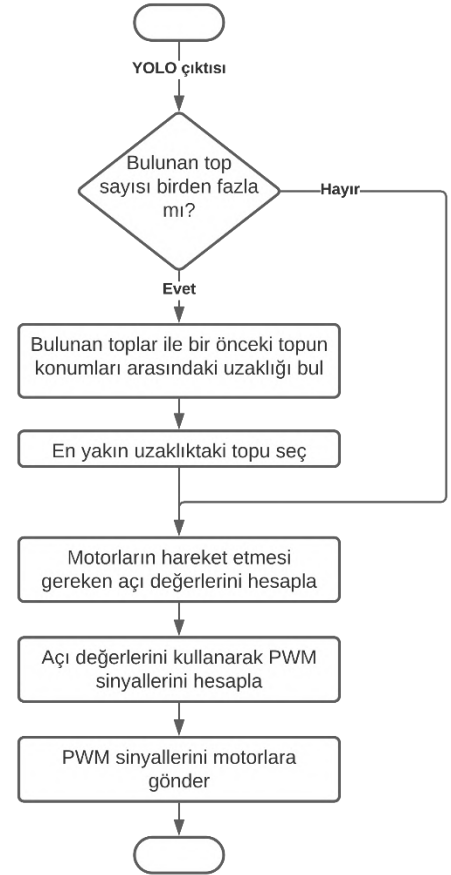
Algoritma tarafından sunucu üzerinden sağlanan ve bir sonraki görüntüde eğer birden fazla top varsa hangi topun takip edileceği kesinleştirildikten sonra, topun görüntü üzerindeki yatay ve dikey koordinatlarına bakılarak robot üzerinde bulunan

motorlara gerekli açı girdileri hesaplanmaktadır. Açı değerleri, kameranın bulunduğu noktaya, dolayısıyla görüntünün kaydedildiği görüş açısına ve kameranın robota göre göreceli konumuna bağlı olarak değişmektedir. Denklem I ve Denklem II'de bu hesaplamaların nasıl yapıldığı görülebilir. Bu çalışmada, kamera ve robot kolun konumları sabittir. Kamera robot kolun üzerinde, robot kol ile dikey ekseninde aynı hizada bulunmaktadır. Kameranın çözünürlüğü 1366x768 piksel boyutlarındadır. Algoritma tarafından sağlanan koordinatlar bu sınırlar içerisinde çıktı olarak gelmektedir. Kullanılan kameranın yatay görüş açısı 62,2° ve dikey görüş açısı 48,8°'dir. Bu nedenle robotun yatay ve dikey eksenlerdeki hareket alanı görüş açılarına göre 180°nin altına indirilmiş, tutarlılık sağlanmıştır.

$$a = (180 - A)/L \quad I$$

$$M = (K * a) + A/2 \quad II$$

A değeri kameranın yatay ya da dikey eksenindeki görüş açısını, L değeri kamera çözünürlüğünün yatay ya da dikey eksenin piksel cinsinden uzunluğunu, K değeri topun yatay ya da dikey eksenindeki piksel cinsinden konumunu gösterir. Ortaya çıkan M sonucu yatay ya da dikey eksen hareketi için kullanılacak motora gönderilecek PWM sinyalinin oluşturmak için gereken açıyı vermiştir.



Şekil 5. YOLO çıktısından motorların hareket ettirilmesine kadar olan iş akış diagramı

Robot kol üzerinde bulunan motorlar için gerekli açı bilgisi hesaplandıktan sonra, motorlara belirlenen açığa yönelmesi için gereken PWM sinyallerinin oluşturulması gerekmektedir. Robot kolda kullanılan motorlar aynı tipte olup, ikisinin de PWM sinyal aralığı 600µs-2400µs aralığındadır. 180° içerisinde verilmesi gereken her açı değeri;

yatay eksen için,

$$S = 2400 - M * 10 \quad \text{III}$$

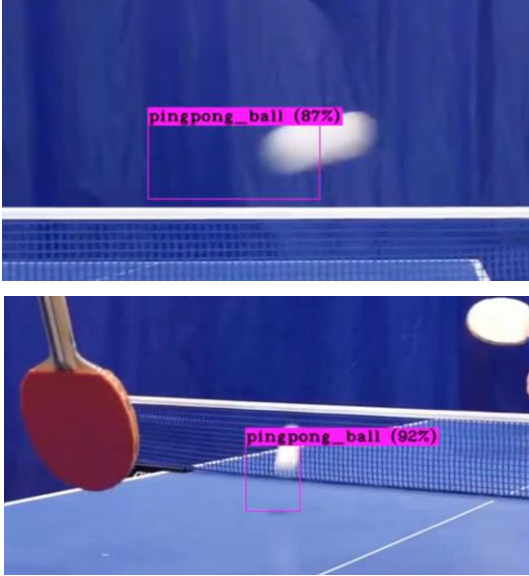
dikey eksen için,

$$S = 600 + M * 10 \quad \text{IV}$$

denklemleriyle PWM sinyaline dönüştürülerek bulunmuştur. PWM sinyalleri anlık olarak hesaplanmakta ve yine anlık olarak robot kola gönderilmekte ve robot kolun hareketi sağlanmaktadır.

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Algoritmaya anlık olarak verilen görüntünün uygulama üzerinden çıktısı video dosyalarına topun merkez konumunu ve topun içinde bulunduğu kutunun kenarları belirli olacak biçimde kaydedilmiştir. Bu çıktı videolarından elde edilen sonuca göre %99'un üzerinde bir başarı oranı sergilenmiş, top gerek durağan halinde gerek yüksek hızlarda aldığı eliptik biçimde, gerekse masaya çarptığı anda oluşturduğu V şeklinde yakalanmıştır. Robot kol ile algoritma arasındaki iletişim başarıyla sağlanmış, robot kolun topu büyük oranda başarıyla izleyebildiği görülmüştür.



Şekil 6. Video kaydı girdisiyle çalıştırılan algoritmadan alınan çıktıdan iki görüntü. "pingpong\_ball" nesnenin sınıfını, parantez içerisinde belirtilen yüzde ise bu nesneye olan benzerlik oranını göstermektedir.

Bazı durumlarda ise, ortam ışığına bağlı olarak top üzerinde yansıma olabilmekte, ya da top çok hızlı giderken görüntüde oldukça bulanık görüldüğünden arkaplanda bulunan duvar rengi ya da farklı nesnelere ile rengi karışabilmekte ve insan gözünün dahi topu bulmakta zorluk çektiği görüntüler meydana gelebilmektedir. Bu gibi durumlarda algoritma topu bulamamış, fakat top tekrar daha belirgin bir hal aldığı anda çok kısa sürede topu yakalamış ve robot kol top takibine devam edebilmiştir. Gerçek hayat koşullarında özellikle masa tenisi maçlarına bakılırsa topun daha iyi görülebilmesi için kameranın masaya belirli bir açıyla yukarıdan konumlandırıldığı, zemin renginin ise topun seyirciler tarafından daha kolay ayırt edilebilmesi için daha farklı bir renk seçildiği görülebilmektedir. Bu nedenle algoritma masa tenisi maçları üzerinde uygulandığında yüksek doğruluk oranları sergilemektedir.



Şekil 7. Takip edilen pinpon topunun izlediği yol görüntüsü

YOLO algoritması sonucu üzerinden gelen görüntüler dışında halihazırda bulut bilişim sistemine yüklenmiş masa tenisi maçı videoları üzerinde denendiğinde, saniyede 24 kare hızda olan videoları eşzamanlı olarak işleyebilmiş, ortalamada saniye başına 42 kare hızına ulaşılmıştır. Gerçek durum senaryoları için 24 kare ve 30 kare çekim yapan kameralar için oldukça yeterli olduğu kanaatine varılmıştır.

Robot kol masa tenisi masasının yan kenarında tam ortada durmaktadır. Kamera ise birden fazla kamera kullanılmadığı ve robotun topu yatay ve dikey eksende izlenmesi hedeflendiği için robot kol ile dikey eksen hizasında aynı konumda ve robot kolun hemen üzerinde yerleştirilmiştir. Fakat, robot kolun dikey eksenindeki hareketini sağlayan motorunda bağlı bulunan işaretçi ile kamera arasında yaklaşık 5cm yükseklik farkı oluşmuştur. Denklem I ve Denklem II yatay eksen için iyi sonuç vermiştir. Ancak robot kol dikey ekseninde Denklem I ve Denklem II ile belirlenen hareket alanının sınır açalarına yaklaştıkça, doğrusal olarak artan bir sapma oranıyla topun yerini doğru olarak göstermemeye başlamaktadır. Bu sorun Denklem I ve Denklem II üzerinde kamera ile robot kol arasındaki uzaklık farkı kullanılarak düzeltilmeye çalışılmış, büyük ölçüde başarı yakalanmıştır. Tek kamera yerine iki kamera kullanılabileceği, topun 3 boyutlu düzlemde tam konumunun çıkarılabileceği ve bu sayede hatanın düzeltililebileceği düşünülmektedir.

### 4. Sonuç

Yapılan çalışmada oluşturulan veri setiyle YOLO algoritması başarılı bir şekilde eğitilmiş, algoritmadan gerçek zamanlı dönüş alınabilmiş, topun yatay ve dikey eksenindeki merkez konumu büyük oranda doğru tespit edilmiş, robot kol işaretçisini büyük oranda topa doğru yöneltebilmiştir. YOLO algoritmasının doğrusal olmayan ve yüksek hızlarda hareket eden küçük nesnelere gerçek zamanlı uygulanması başarıyla gerçekleştirilmiştir.

Literatürde masa tenisi topunun takibi için Kalman filtresi (G. Chen, 2013) (P. R. Kamble, 2019), parçacık filtresi (Y. Huang, 2008) ve bulanık mantık algoritması (Hu Su, 2013) ya da basit Gaussian modellemesi (J. Liu, 2014) gibi farklı algoritmalar kullanılmıştır. Bu çalışmayla birlikte, bu tür literatürde daha önce kullanılan algoritmaların yanında, YOLO algoritmasının da pinpon topu gibi yüksek hızda doğrusal olmayan yönlerde hareket edebilen nesnelere tespiti için kullanılabileceği görülmüştür. Ayrıca, farklı nesnelere aynı anda eğitilebildikleri ve görüntü üzerinde eğitilen bütün nesnelere için tespit çalışması yapabildiği için birden fazla pinpon topu ya da birden fazla farklı yönlerde hareket eden ve farklı şekillerde nesnelere takibinin aynı görüntü üzerinde gerçekleştirilebileceği düşünülmektedir.

YOLO algoritmasının sadece tek bir görüntü üzerinde ya da önceden kaydedilmiş videolar üzerinde değil, aynı zamanda gerçek zamanlı video kayıtlarında da kullanılabileceği görülmüş, bu algoritmanın kullandığı işlem gücüne bağlı olarak çok hızlı bir şekilde canlı görüntülerden tespit yapabildiği görülmüştür.

Böylece birçok farklı gerçek senaryoda bu algoritmanın kullanılabileceği düşünülmektedir.

İlerleyen dönemlerde iki ya da daha fazla kamerayla topun 3 boyutlu hareket modelinin çıkarılmasıyla kesin konum bulunması ve robot kolun geliştirilip masa tenisi topuna karşılık verecek şekilde oyuncu konumuna getirilmesi planlanmaktadır.

## **Kaynakça**

- J. Redmon, S. D. (2016). You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection. 2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR) (pp. 779-788). Las Vegas: IEEE.
- Y. Huang, J. L. (2008). A Method of Small Object Detection and Tracking Based on Particle Filters. ICPR 19th International Conference on Pattern Recognition (s. 1-4). Tampa, FL: IEEE.
- G. Chen, D. X. (2013). Visual Measurement of the Racket Trajectory in Spinning Ball Striking for Table Tennis Player. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 2901-2911.
- J. Liu, Z. F. (2014). Improved high-speed vision system for table tennis robot. 2014 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation (pp. 652-657). Tianjin: IEEE.
- P. R. Kamble, A. G. (2019). Ball tracking in sports: a survey. Artificial Intelligence Review, vol. 52, no. 3, pp. 1-51.
- Bochkovskiy, A. (2020, 04 23). GitHub- AlexeyAB/darknet: YOLOv3. [github.com: https://github.com/AlexeyAB/darknet](https://github.com/AlexeyAB/darknet) sitesinden alınmıştır.
- Szeliski, R. (2011). Computer Vision: Algorithms and Applications (Texts in Computer Science) 2011th Edition. Springer.
- Aggarwal, C. C. (2018). Neural Networks and Deep Learning, A Textbook. Springer.
- Branko Ristic, S. A. (2003). Beyond the Kalman Filter: Particle Filters for Tracking Applications. Artech House.
- Corke, P. (2017). Robotics, Vision and Control: Fundamental Algorithms In MATLAB, Second Edition. Springer.
- Rafael C. Gonzalez, R. E. (2017). Digital Image Processing, 4th Edition. Pearson.
- Simon, D. (2006). Optimal State Estimation: Kalman, H Infinity, and Nonlinear Approaches 1st Edition. Wiley.
- Paul Scherz, S. M. (2016). Practical Electronics for Inventors, Fourth Edition. McGraw-Hill Education TAB.
- Hu Su, Z. F. (2013). Trajectory Prediction of Spinning Ball Based on Fuzzy Filtering and Local Modeling for Robotic Ping-Pong Player. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 2890-2900.
- Open Images Dataset. (2020, 01 29). Google OpenSource: <https://opensource.google/projects/open-images-dataset> sitesinden alınmıştır.





# Metro Sistemlerinin Konut Satış Değerine Etkisinin Diğer Faktörler Yönünden Analizi\*

Ali Onuralp Ünal<sup>1\*\*</sup>, Harun Tanrıvermiş<sup>2</sup>, Yeşim Tanrıvermiş<sup>3</sup>

<sup>1\*\*</sup>Dr., EGO Genel Müdürlüğü, Ankara, Türkiye (ORCID: 0000-0002-5816-9939), onuralp\_unal@hotmail.com

<sup>2</sup> Prof. Dr., Ankara Üniversitesi, Uygulamalı Bilimler Fakültesi, Gayrimenkul Geliştirme ve Yönetimi Bölümü, Ankara, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-0765-5347), tanrıvermiş@ankara.edu.tr

<sup>3</sup> Doç. Dr., Ankara Üniversitesi, Uygulamalı Bilimler Fakültesi, Gayrimenkul Geliştirme ve Yönetimi Bölümü, Ankara, Türkiye (ORCID: 0000-0002-0859-7150), aliefendioğlu@ankara.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 22 Temmuz 2021 ve Kabul Tarihi 17 Ekim 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.973834)

**ATIF/REFERENCE:** Ünal, A.O., Tanrıvermiş, H. & Tanrıvermiş, Y. (2021). Metro Sistemlerinin Konut Satış Değerine Etkisinin Diğer Faktörler Yönünden Analizi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (27), 636-643.

## Öz

Kentlerde konut değerini etkileyen temel parametreler arasında; konum, erişilebilirlik, çevre ve tamamlayıcılık gibi faktörler yer almaktadır. Bu çalışma raylı sistemlerin konut fiyatları üzerine etkisini değerlendirmek için yapılmıştır. Araştırma kapsamında Ankara M4 Keçiören Metro Hattı güzergâhında yapılan saha çalışmasının bulguları kullanılarak konut sakinleri yönünden raylı sistem istasyonlarına erişilebilirlik düzeyi, kira değeri, asansör olma durumu ve oda sayısının konut değerini ne yönde ve ne miktarda etkilediği sonuçları ortaya koyulmuştur. Yapılan araştırma sonucunda kira değeri, asansör olma durumu ve oda sayısının konut değerini pozitif yönde etkilediği görülmüştür. Çalışmanın sonuçlarına göre metro hattının inşa edilip işletmeye açılışından sonraki dönemde konut satış değerlerinde % 17,40 oranında artış olduğu gözlemlenmiştir. İncelenen metro hattı istasyonlarının ortalamasına göre istasyona 1 metre yaklaşıldığı zaman konut satış değerinde 168,30 TL artış olduğu ve konut değerinin ulaşım yatırımından olumlu olarak etkilendiği görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Konut, Değerleme, Ulaşım, Metro.

## Analysis of the Effect of Metro Systems on the Sales Value of Housing in Terms of Other Factors

### Abstract

Location, accessibility, environment and complementarity factors are main parameters affecting housing value in cities. This study is conducted to assess the impact of rail systems on house prices. As part of the research, using the results of a field study conducted on the Ankara M4 Keçiören Metro Line, the results of which affect the level of accessibility to rail system stations, the rental value, the status of elevators and the number of rooms affect the value of the housing in what direction and in what amount are revealed from the point of view of residents. As a result of the research, it is observed that the rental value, the elevator status and the number of rooms positively affect the housing value. According to the results of the study, it is observed that there is a 17.40 % increase in housing sales values in the period after the construction and opening of the metro line. According to the average of the metro line stations examined, when the station is approached by 1 meter, there is an increase of 168.30 TL on the value of housing sales and the value of housing is positively affected by the investment in transportation.

**Keywords:** Housing, Valuation, Transportation, Subway.

\* Bu makale, Prof. Dr. Harun Tanrıvermiş danışmanlığında tamamlanan “Kamu Ulaşım Projelerinin Gayrimenkul Değeri ve Kullanımına Etkisi: Ankara İli Metro Projesi Örneği” başlıklı doktora tez çalışmasından üretilmiştir.

<sup>1\*\*</sup> Sorumlu Yazar: [onuralp\\_unal@hotmail.com](mailto:onuralp_unal@hotmail.com)

## 1. Giriş

Birçok ülkede 1950 sonrası dönemde gayrimenkullerin fiziksel ve çevresel özellikleri ve erişilebilirlik ile gayrimenkullerin değerleri arasında güçlü ilişkinin analizine yönelik çalışmalar yapıldığı bilinmektedir (Hansen 1959, Martellato vd. 1998, Debrezion vd.2011). Bu çerçevede ulaşım yatırımlarının temel amaçlarının başında kentteki mobilite ve erişilebilirlik düzeyinin artırılması ve pozitif getiri sağlanması gelmektedir. Buna ilave olarak ulaşım sistemi altyapısına yatırımın, kentsel alanlara birçok ekonomik faydaları bulunmakta ve ulaşım olanaklarına bağlı olarak kentsel mekân kullanımını ve gayrimenkullerin değerlerinde önemli ölçüde değişim olmaktadır (Ünal ve Tanrıvermiş 2019).

Kentler için erişilebilirlik, şehirlerin ulaşım aklarının doğru tasarlanmış olmasını ifade etmektedir. Ulaşım aksları ve ulaşım araçları artık insanları sadece bir yerden bir yere ulaştırmanın yanında şehirlerin gelişmesinde ve değişmesinde de büyük önem arz etmektedir. Kentsel alanda ulaşım imkânlarının artması kentteki yoğunluk kademeleri ve alt merkezlerin oluşmasına da sebep olmaktadır. Kentsel alandaki ulaşım altyapı yatırımları şehirlerin sosyo-kültürel ve ekonomik durumunun değişmesine de sebep olmaktadır (Tanrıvermiş 2017, Kartal ve Çorum 2020).

Kentsel ulaşım sistemlerinin geliştirilmesi ve ulaşım modlarının entegrasyonu yoluyla trafikte bekleme süresinde azalış, metro istasyonları etrafında kentsel gelişim (transit oriented development), istihdamda ve gelirden büyüme, erişilebilirlik düzeyinde iyileşme gibi ulaşım ile ilgili çeşitli ekonomik etkiler meydana gelmektedir. Bu çerçevede ulaşım sistemlerindeki yatırımların ekonomik etkilerini ölçebilmek, karar süreçlerinde büyük öneme sahiptir (Yankaya ve Çelik 2005).

Literatürde genel olarak gelişmiş ülkelerin kentlerinde ulaşım sistemleri ve özellikle raylı sistem yatırımlarının gayrimenkul değerleri ve konut piyasalarına etkilerinin analizine ağırlık verildiği görülmektedir. Bu çalışmaların çoğunluğu, raylı sistem ulaşımının, kentsel ulaşım projelerinin en önemli sonuçlarından biri olan gayrimenkulün değeri ve kullanımına olası etkilerini incelemiştir (Diaz 1999). Önceki bilimsel çalışmaların sonuçlarına göre toplu taşıma araçları veya metro istasyonlarına yakınlığın, birçok durumda konut ve diğer gayrimenkullerin değerleri ve kira paralarında artışa neden olduğu saptanmıştır (Wardship 2011, Debrezion vd. 2007, Pacheco-Raguz 2010, Ge vd. 2012, Kheyroddin vd. 2014). Türkiye’de bu alanda güvenilir ve doğru veri tabanlarının oluşturulamaması ve kamu sektörünün kararlarının hesap vermekten uzak kurgulanması kentin planlanmasını daha çok fiziksel planlama ile sınırlandırmıştır (Çelik 2003, Yankaya vd. 2005, Ünal vd. 2019).

Ulaşım projelerinin ekonomik etkilerinin ölçülmesi planlama çalışmalarının ana konularından biri haline gelmiş olup, gayrimenkul edinimi ve geliştirme çalışmaları için yer seçiminde de ulaşım, ana değişkenlerden biri olmuştur. Özellikle kamu yatırımlarının başında gelen ulaşım yatırımları, toplumun kalkınması yönünden çok önemli rol oynamakta ve bu yüzden projelerin olası olumlu ve/veya olumsuz etkilerinin sosyal fayda-maliyet analizleri içinde ele alınması gerekli görülmektedir. Bu kapsamdaki ulaşım yatırımlarının etkisi; arazi kullanımı, gelir, istihdam ve finansal değerlerde meydana gelen değişimler gibi yönlerden inceleme konusu yapılmaktadır (Yankaya ve Çelik

2005, Tanrıvermiş 2017, Ünal ve Tanrıvermiş 2019, Kartal ve Çorum 2020).

Her bir yerleşim yerinde türlerine göre gayrimenkul piyasalarında; ulaşım yatırımları ve diğer kamu hizmetlerinin etkilerinin gayrimenkul değerlerine etkileri parasal olarak ölçülebilmekte ve bu amaçla Rosen (1974) tarafından hedonik değerlendirme metodolojisi ile gayrimenkullerin farklı özelliklerinin dolaylı fiyatı veya değere etkisinin tespiti mümkün olmaktadır. Ulaşım olanakları ve yatırımlarının gayrimenkullerin piyasa değerlerine etkilerinin analizinde, matematiksel modeller ve geleneksel değerlendirme modellerinden yararlanılabilmesi mümkündür (Al-Mosaind vd. 1993, Cervero 1994, Yankaya vd. 2005, Du vd. 2007, Blackledge 2016). Ulaştırma alanında yapılan yatırımlardan kaynaklı erişilebilirlik düzeyinin artışı ve şehrin diğer kısımları ile kurulan bağ nedeni ile söz konusu yatırımın değer oluşturması kaçınılmaz olacaktır. Yapılan yatırımların etkisi; ticari ve konut amaçlı gayrimenkullerin satış veya kira değerlerindeki değişimler ile ölçülebilecek ve bu etkiler; uzun ve kısa vadedeki periyotlar alınarak değerlendirilir olacaktır. Kamu ulaşım yatırımı; hafif raylı hızlı transit, metro ve otoyol gibi ulaşım yatırımları olabilmektedir.

Ahlfeldt (2013) tarafından The London School of Economics and Political Science Online Research isimli dergide yayınlanan “If We Build It, Will They Pay? Predicting Property Price Effects of Transport Innovations” başlıklı makalede, Londra Metropolitan sınırları içerisinde metro hatlarına 60 dakika yürüme mesafesinde olan konutların diğer konutlara göre %12 daha değerli olduğu gösterilmiştir.

Hong Kong’da So vd. (1997) tarafından yapılan ve Journal of Property Valuation and Investment isimli derginin 15. sayısında yayımlanan “Estimating the Influence of Transport on House Prices: Evidence from Honk Kong” başlıklı makalede ise, Hong Kong’da ulaşımın konut fiyatlarına etkisi incelenmiştir. Çalışmada, sadece gayrimenkulün değerine ulaşımın değil başka faktörlerin de etkili olduğu görülmüş ve bu değişkenler üzerinden hedonik model oluşturulmuştur.

Forrest vd. (1996)’nin Journal of Transport Economics and Policy isimli dergide yayımlanan “The Impact of a Light Rail System on the Structure of House Prices: A Hedonic Longitudinal Study” başlıklı makalesinde; Kuzey İngiltere’de bulunan Manchester’da hafif raylı sistemin konut fiyatlarını revize edip etmediğini araştırmışlardır. Araştırma sonuçlarına göre 2.5 milyon nüfuslu şehirde 115 metro istasyonunun etrafında 19. yüzyıldan itibaren yapılaşmanın yer alması ve 1992’de yeni Metrolink hattının eklenmesiyle konut ve ticari işletmelere bu hatların ekonomik etkilerinin yüksek oranda olduğu görülmüştür.

Ulaşım altyapı yatırımlarının sosyal, ekonomik ve yönetsel açıdan çok farklı boyutlarda etkileri bulunmaktadır. Ulaşım yatırımlarının toplumun refahı ve kalkınması için yarattığı bu doğrudan etkiler hem teorik, hem de pratik açıdan şehri planlayanları ve kamu yöneticilerini ilgilendirmektedir. Bu nedenle, ulaşım altyapı yatırımlarının muhtemel etkilerinin fayda-maliyet analizlerinde dikkate alınması önemlidir. Karar vericiler için seyahatte geçirilen zamanın etkileri, parametrik esneklikler ve şehiriçi seyahate atfedilen ulaşım değerinin hesaplanmasına imkân tanımaktadır (Yankaya ve Çelik 2005). Bu yatırımların arazi kullanımı, gelir, istihdam, yoğunluk ve parasal değerlerde yarattığı kısa ve uzun dönemli etkilerinin tespiti, yatırımın gerçekleştirileceği yerin fiziksel ve idari açıdan

planlanmasının uygulamada yerine getirilmesi için önem arz etmektedir (Gülhan 2018).

“Değer” ve “Erişilebilirlik”, ulaşım altyapılarına bireylerin erişimleri konusunda tartışmaların iki temel kavramıdır. Raylı sistem yatırımı, erişilebilirlik düzeyinde düzelleme olduğundan ulaşım maliyetini azaltmakta ve kişilerin ulaşım için geçirdiği zamanında azalmasını sağlamaktadır. Diğer taraftan yer seçimi açısından, raylı sistem yatırım güzergâhlarına, hatta istasyonlarına yakınlık, erişim imkânlarının iyileşmesi ve hareketlilik seçeneklerinin artması gibi sağladığı doğrudan ya da dolaylı avantajlar gayrimenkullerin değerinin daha yüksek olacağı beklentisini doğurmakta, gayrimenkul değerleri üzerinde artış yönünde olumlu etkide bulunabilmektedir (Yankaya ve Çelik 2005, Gülhan 2018). Ancak bu teori bütün çalışmalarda doğrulanmamıştır. Raylı sistem yatırımının gayrimenkul değeri üzerindeki etkisini pozitif bulunan çalışmalar olduğu gibi bir kısım çalışmalar ise anlamlı pozitif etkiler bulamamıştır (Yankaya ve Çelik 2005). Pozitif etki, raylı sistem kullanıcısının erişilebilirlik düzeyindeki iyileşmeden faydalanma karşılığı ticari ya da konutlara satın alma amaçlı olarak daha fazla ödeme istekleri şeklinde görülmektedir. Bunun aksine, istasyonların yarattığı gürültü ve suç oranlarında artış gibi etkenlerin ise gayrimenkul değerlerini negatif yönde etkileyebilmektedir. Bu çerçevede çalışma sonuçları ulaşım yatırımlarının konut satış değerlerini hangi yönde / ne derece etki ettiğini araştırmakta ve bu etkilerin gelecek yatırımlarda göz önüne alınması öngörülmektedir.

Bu çalışma üç ana bölümden oluşmakta olup, birinci bölüm olan “Giriş” bölümünde problem tanımlanmış ve aynı konudaki literatür özetlerine yer verilmiştir. İkinci bölüm olan “Materyal ve Metot” bölümünde problemin çözüm aşamaları detaylandırılmış, saha çalışmasının yöntemi belirlenmiş ve kurulan matematiksel model açıklanmıştır. Üçüncü bölüm olan “Araştırma Sonuçları ve Tartışma” bölümünde ise yapılan çalışmanın sonuçları açıklanmış, konuyla ilgili diğer çalışmaların sonuçları ile kıyaslanmış, sorun ve çözüm önerilerine yer verilmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

Araştırmada hedef kitle, Ankara İli Keçiören ve Altındağ İlçelerinden geçen M4 Metro Hattı duraklarının yakın çevresindeki konut sakinleridir. Çalışma kapsamında, metro istasyonu çevresine birbiri ile kesişmeyecek şekilde 370 m yarı çapında çemberler çizilmiş ve bu çemberler içerisinde 698 anket yapılmıştır. Araştırmada sistematik ve tabakalı örneklem modeli kullanılmıştır. Araştırmanın coğrafi kapsamını Ankara İli metropoliten alan sınırları içinde yer alan Keçiören ve Altındağ İlçe sınırları içerisinde yer alan M4 Keçiören Metro Hattı Projesi ve çevresi oluşturmaktadır.

Çalışmada konut değerine etki eden değişkenler ve bu değişkenlerin yönü ve büyüklüğü ölçülmeye çalışılmıştır. Bu çemberler içindeki istasyona en uzak konut 370 m uzaklıktadır. Ancak bu çemberler içerisinde tür bakımından birçok gayrimenkul bulunmaktadır. Bu çemberler teker teker ele alınarak içerisindeki konutlar adresleriyle birlikte belirlenmiş ve listelenmiştir. Nihai anket uygulaması ve sahadan veri toplanmasında 22 araştırmacı 6 gün boyunca görev yapmıştır. Her günün sonunda raporlama yapılmış, anketlerin yapıldığı günün ertesi günü uygulama gerçekleştirilen anketlerin telefon kontrolleri yapılarak sağlıklı veri toplanması sağlanmıştır. Sahada uygulama sırasında yapılan kontrollere ek olarak yapılan

telefon kontrolleri her anketörün uyguladığı anket sayısının % 10’una uygulanmıştır. Konut sakinlerine uygulanan anket tamamlandıktan sonra istasyon ismi haritaya göre ve istasyona olan uzaklığına göre sıralı olarak hazırlanmıştır.

Saha çalışması aşamasında anket ile toplanan veriler, IBM SPSS Statistics Version 20 paket programı kullanılarak analiz edilmiştir. Model oluşturma sürecinde bir değişkenin diğer değişkenler üzerindeki etkisini ölçmek amacıyla lineer regresyon kullanılmıştır. Bağımlı değişken olarak incelenen konut sakini görüşlerine göre konut satış değerinin logaritması, normal dağılımda yapılan One Sample Kolmogoro-Smirnov testinden anlaşılmıştır. Nominal değişkenlerin grupları arasındaki ilişkiler incelenirken Ki-Kare analizi uygulanmıştır. Normal dağılımdan gelmeyen değişkenler arasındaki ilişkiler incelenirken Spearman’s Korelasyon Katsayısından yararlanılmıştır. Bu sayının 2 civarında çıkması otokorelasyonun olmadığını göstermiştir. Ayrıca modelde Harvey ve Glejser değişen varyans testleri yapılmış olup değişen varyans söz konusu olmadığı görülmüştür. Yapılan analizlerin sonuçları bir bütün olarak değerlendirilerek bulguların yorumlanması ve söz konusu bulgulara göre genelleme yapılması yoluna gidilmiştir. Verilerin normal dağılımadığı tablolarda bağımlı iki örnek arasındaki farkın anlamlılığını test etmek için Wilcoxon Testi kullanılmıştır.

Ekonometrik modellere dayanan araştırmaları baz alan iktisat teorisi, iktisadi değişkenler arasındaki ilişkilerin doğru tespit edilebilmesini gerektirmektedir. Ekonometrik modellerde genel olarak, modelin sağındaki değişken bağımsız değişken, sol tarafındaki değişken ise bağımlı değişken olarak isimlendirilir. Ekonometrik modellerin en büyük özelliği hata terimi içermeleridir (Çil 2010). Konut sakini görüşlerine göre metro açıldıktan sonra güncel konut satış değerleri üzerinde hedonik model analizinde; metro açıldıktan sonraki konut satış değerlerine hangi değişkenlerin etki ettiğine dair yapılan analizde konut satış değerlerinin logaritması alınarak işlem yapılmıştır. Konut satış değerlerinin logaritması bağımlı değişken olarak incelenmiştir. Kira değeri, asansörün olup olmaması durumu, oda sayısı ve en yakın metro istasyonuna olan mesafe de bağımsız değişken olarak tanımlanmıştır. Yapılan çalışmada hedonik regresyon modeli uygulanmış ve yapılan analizde hataların normal dağılması, değişen varyans sorununun ve otokorelasyon sorununun olup olmadığına bakılmıştır. Ankette yer alan değişkenlerin, oluşturulması hedeflenen model içinde olması seçiminde “Backward Elimination” yöntemi kullanılmıştır.

Gayrimenkul çalışmalarında demografik yapı ve değişimin analizi, özellikle proje geliştirme ve yatırım kararlarının verilmesinde önemli görülmektedir. Bu bakımdan çalışmanın bu bölümünde anket sonuçlarına göre anketin ilk kısmını oluşturan demografik özellikleri değerlendirilmiştir. Çalışmanın yapıldığı M4 Keçiören Hattı güzergâhının demografik yapısına göre (cinsiyet, eğitim durumu ve yaş gibi) gayrimenkul değeri farklılık göstermektedir. Anketin uygulandığı kişi 1. kişi olarak belirlenmiş ve evdeki diğer bireyler sorulduğunda 2., 3. kişi olarak sırasıyla yazılmıştır. Hane halkı üyelerine ilişkin cinsiyet ve eğitim durumunu gösteren frekans dağılımında anketin uygulandığı ve cinsiyet sorusuna cevap veren kişi sayısı 649’dur (Tablo 1).

1. kişi olarak tanımlanan kitlenin %64,25’i kadın ve %35,75’i erkeklerden oluşmaktadır. Konuttaki 2. kişilerin %58,01’ini erkek ve %41,99’ünü kadınlar oluşturmaktadır.

Ailedeki diğer kişilerde kadın erkek oranının dengeli dağılım gösterdiği görülmektedir. Genel olarak bakıldığında anketin uygulandığı kişilerde kadınların yüzdesinin daha fazla olduğu görülmektedir. Ankete katılan kişilerin % 46,21'inin ilköğretim mezunu olduğu ve çoğunluğu bu eğitim seviyesinde olan kişilerin oluşturduğu görülmüştür. İlköğretim ve üstü eğitim seviyesine sahip kişiler toplam anket uygulanan kişilerin % 48,97'sini oluşturmaktadır (Tablo 1).

Tablo 1. Araştırmaya katılan kişilerin demografik bilgileri

	1. Kişi		2. Kişi		3. Kişi	
	Sayı	(%)	Sayı	(%)	Sayı	(%)
Erkek	232	35,75	333	58,01	198	56,57
Kadın	417	64,25	241	41,99	152	43,43
Toplam	649	100	574	100	350	100
Okur-yazar değil	28	4,08	17	2,84	18	5,17
İlköğretim	317	46,21	244	40,8	91	26,15
Lise ve dengi	208	30,32	209	34,95	85	24,43
Lisans	110	16,03	112	18,73	105	30,17
Yüksek Lisans /	18	2,62	11	1,84	14	4,02
Bir okul	5	0,73	5	0,84	35	10,06
Toplam	686	100	598	100	348	100

Literatür taramasında da görüleceği üzere, yapılan çalışmaların bazılarında metro istasyonuna 1 metre yaklaşıldığı zaman konut satış değerinin ne kadar değişeceği merak konusudur. Verileri yeterli olan istasyonlarda yapılan çalışmalar neticesinde, istasyona yaklaşılana her 1 metrede konutun satış değeri Dutluk İstasyonu'nda 142,47 TL, Kuyubaşı İstasyonu'nda 3,22 TL ve Şehitler İstasyonu'nda 248,65 TL artmaktadır. Ayrıca Keçiören'de istasyona 1 metre yaklaştıkça konut satış değerinde 168,30 TL artış olduğu görülmüştür (Tablo 2). İstasyona 1 metre yaklaştıkça en fazla değer artışı Şehitler İstasyonu civarında olup, en az değer artışı Kuyubaşı İstasyonu civarında gerçekleşmiştir. Bu durumun sebebi Kuyubaşı İstasyonu etrafında daha yoğun yapılaşma olması ve buna bağlı gürültü ve kalabalıktan duyulan rahatsızlık olarak yorumlanmaktadır.

Tablo 2. İstasyona 1 Metre Yaklaştıkça Değişen Konut Fiyatları

İstasyonlar	(TL)
Dutluk	142,47
Kuyubaşı	3,22
Şehitler	248,65
Keçiören Geneli	168,30

Özünde farklı veya farklılaştırılmış mallara heterojen mal denilir. Heterojen mallar, ölçülebilir özellik vektörü olarak tanımlanmakta olup belirtilen heterojen malların özellikleri sebebiyle arz ve talep yönlerinden farklılık gösterdiği bilinmektedir (Rosen 1974). Bu çerçevede, konut amaçlı gayrimenkul, heterojen bir maldır. Konutun heterojen bir mal olması, bir konut değerini belirleyen değişken sayısının birden fazla olacağı anlamına gelmektedir. Bir konutun fiyatı, konutta bulunan özelliklerin fiyatları toplamına eşittir. Ancak çoğu zaman konutların değerlerini belirleyen bu değişkenler

fiyatlandırılmamaktadır. Bu yüzden konutun fiyat analizlerinde hedonik fiyat modeli yöntemi ile konutun sahip olduğu özelliklerin fiyatları belirlenebilmektedir (Kaya 2012).

Son elli yılda gayrimenkul çalışmalarında sıklıkla kullanılan regresyon analizi, değişkenler arasındaki ilişkiyi belirlemek için kullanılan bir istatistiksel teknik olarak bilinir. Regresyon modellerinden elde edilen sonuçlar, daha sonra geleceği tahmin etmek için kullanılabilir ve özellikle toplu değerlendirme (mass valuation) çalışmalarında il, ilçe, mahalle ve köy ve daha alt yerleşimler için taşınmazların türlerine göre modellerin tahmin edilmesi ve uygunluğunun değerlendirilmesinden sonra toplu değerlendirme çalışmaları için sıklıkla kullanılması zorunlu olmaktadır (Tanrıvermiş 2017). Buna ilave olarak herhangi bir varlığın fiyatı (mülkiyet veya  $P_i$ ) ile özellikleri arasındaki ilişki, hedonik model veya hedonik regresyon olarak adlandırılır (Belniak ve Wiczorek 2017). Hedonik modeller; regresyon analizinden üretilen katsayılar kullanılarak geliştirilmiş olup, buna göre bir varlığın piyasa fiyatı; varlığın her bir somut ve soyut niteliği ile diğer faktörlere bağlı olarak oluşur. Bu amaçla aşağıdaki denklem yazılabilir (Monson 2009):

$$Piyasa Fiyatı = f(\text{Parasal Olarak Ölçülebilir ve Konut Özellikleri, Konut Değerini Etkileyen Diğer Dış Faktörler})$$

Yerel ve ulusal düzeyde gayrimenkul piyasası analizlerinde kullanılan hedonik fiyat modeli tahmininde, konut için hedonik fiyat fonksiyonu kalıbının doğru tespiti amaçlı bağımlı değişken olan konutun güncel fiyatı ile modelde yer alan bağımsız değişkenler (konutun yapım yılı, niteliği, ısınma, asansör, kat adedi, konutun bulunduğu lokasyon, istasyonlara olan mesafe gibi) arasındaki ilişkinin doğrusal olup olmadığının belirlenmesi gerekmektedir.

Hedonik model kurulması ile yapılan regresyon analizinde, bir malın çeşitlilik gösteren özellikleri ile güncel fiyatı arasında ilişki kurularak bu özelliklerin fiyat üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesi amaçlanmaktadır. Bu durumda heterojen bir mal olan konut ( $X_1, X_2, \dots, X_n$ ) özelliklerinden oluşmakta ve buna göre hedonik fiyat fonksiyonu (eşitlik 2.1)'deki gibi hesaplanabilmektedir:

$$P(x) = f(X_1, X_2, \dots, X_i, \dots, X_n); i = 1, 2, \dots, n \quad (2.1)$$

P hedonik fiyat fonksiyonu olup, malın sahip olduğu özelliklerin fiyat üzerindeki etkisini göstermekte, X ise konutun özelliklerini temsil etmektedir (Ayvaz 2002). Bu çalışmada hedonik fiyat modeline göre konut satış değeri; niteliği, istasyona uzaklığı ve hesaplanan değişkenler gibi dört ana değişken grubu yardımıyla (2.2)'deki formül formuyla açıklanabilir:

$$P = f(H, L, \beta, \epsilon) \quad (2.2)$$

Eşitlik (2.2)'de; P: gayrimenkulün fiyatı, H: gayrimenkulün niteliklerini tanımlayan değişkenler vektörü, L: gayrimenkulün

istasyona uzaklığını tanımlayan değişkenler vektörü,  $\beta$ : hesaplanan değişkenler vektörü ve  $\epsilon$ : rastlantısal hata terimidir.

Konut sakinleri (malikler ve kullanıcılar) ile yapılan anketin sonuçları ile farklı fonksiyon formları kullanılarak tahmin işlemleri yapılmış olup, çalışmada en uygun fonksiyon formunun yarı logaritmik olduğu tespit edilmiştir.

$$\ln P = \beta_0 + \beta_1 * x_1 + \beta_2 * x_2 + \beta_3 * x_3 + \beta_4 * x_4 + \beta_5 * x_5 + \dots \beta_n * x_n + \epsilon_i \quad (2.3)$$

Eşitlik (2.3)'te; P: konutun maliki tarafından beyan edilen piyasa değeri,  $X_1, \dots, X_n$ : konutun değerini etkileyebilecek her bir özelliği ve  $\epsilon_i$ : hata terimini göstermektedir. Tahmin edilen model kullanılarak konuta ait bağımsız değişkenlerde ortaya çıkan değişimin, bağımlı değişkende yani konutun fiyatında meydana getirdiği değişimler yüzde olarak tespit edilmektedir. Logaritmik doğrusal model yorumlanırken, bağımsız değişkende meydana gelen bir birimlik değişim, bağımlı değişkende ne oranda değişime neden olacağı yorumlanmaktadır (Kaya 2012). Üretim ve fayda çerçevesinde tam doğru bir fonksiyonel kalıbı belirlemeyi mümkün kılmadığı bilinmektedir (Triplett 2006). Ancak ampirik çalışmalar, logaritmik doğrusal modelin konut piyasalarında yapılan analizler için kullanılabilir nitelikte bulgular ortaya koyduğunu göstermektedir. Bu bakımdan önceki birçok çalışmada hedonik model tahminin yaygın olarak kullanılan fonksiyonel formun logaritmik doğrusal form olduğu görülmektedir (Sands 1993, Diaz 1999, Ortiz 1996, Pacheco-Raguz 2010, Syabri 2011, Wardship 2011, Ge vd. 2012, Kaya 2012, Zhao vd. 2012, Mathur ve Smith 2013, Kheyroddin vd. 2014). Yapılan çalışma kapsamında tahmin edilen ve raporlanan fonksiyon formu ile modelin değişkenlerinin büyüklük ve işaretlerinin teorik beklentiye uygunluğu ile tahmin gücünün uluslararası değerlendirme standartlarına uygunluğu da özel olarak değerlendirilmiştir.

Bağımsız değişkenin bağımlı değişkeni ne oranda ve ne yönde açıkladığını ölçmek amacıyla regresyon analizi yapılmıştır. Yapılan analizde "Backward Elimination" yöntemi kullanılarak değişkenlerden hangilerinin konut fiyatları üzerinde ne derece etkisinin olduğu belirtilmiştir. Sonuçları yorumlamada anlamlılık düzeyi olarak 0,05 değeri kullanılmış olup,  $p < 0,05$  olması durumunda ilişkinin anlamlı olduğu,  $p > 0,05$  olması durumunda da ilişkinin anlamlı olmadığı belirtilmiştir. Tahmin edilen modelin öncelikle ekonomik, ekonometrik ve istatistiksel geçerlilik testleri yapılmış ve tahmin gücü genel olarak değerlendirilmiştir.

Regresyon modeli bir bağımlı ve bir bağımsız değişkenin bulunduğu durumlarda basit doğrusal regresyon, birden fazla bağımsız değişken olduğunda ise çoklu doğrusal regresyon olarak adlandırılmaktadır (Durmuş vd. 2013). Farklılaştırılmış malların özellikleri dikkate alınarak ticarete konu edilen piyasalara hedonik piyasalar, değişik kriterlerin bir fonksiyonu olarak malın piyasada oluşan fiyatına ise hedonik fiyat denmektedir (Temurlenk ve Özelik 2003). Bu çalışmada, regresyon analizi yapılmış ve konut sakini görüşlerine göre güncel fiyat değerleri ve fiyat artış oranları göz önüne alınarak ayrı ayrı analiz edilmiştir.

Durbin Watson testi, hata terimleri arasında otokorelasyon olup olmadığının belirlenmesi amacıyla kullanılmıştır. Durbin Watson istatistiği 0-4 sürekli aralığında değerler alabilir. Pozitif otokorelasyon varsa istatistik değeri sifira yakın, negatif otokorelasyon varsa 4'e yakın ve otokorelasyon yoksa istatistik

değerinin 2'ye yakın bir değer alması beklenir (Gangam ve Altunkaynak 2015). Durbin-Watson test sonucu 2,164 çıkmış olup, bu sonuç modelde otokorelasyon olmadığını göstermektedir. 13 farklı değişkenin etki ettiği bağımlı değişken ise konut sakinlerinin beyanları üzerine ortaya çıkan metro yapıldıktan sonraki değer olarak belirlenmiştir (Tablo 3). Modelin, ön sav olarak kabul edilen "metro yapıldıktan sonra konut değerlerinde artış olmuştur" savını destekleyip desteklemediği de test edilmiştir. F testi ile anlamlı olmadığı tespit edilen model ve bağımsız değişkenler ile teorik olarak uygun olmadığı düşünülen değişkenler elenmiş, logaritmik güncel satış değeri bağımlı değişken olmak üzere kira, asansör, oda ve mesafe bağımsız değişkenleri ile regresyon modellerinin kurulması kararlaştırılmıştır.

Tablo 3. Çalışmada Kullanılan Bakteriler ve İnkübasyon Koşulları

Değişken Tanımı	İsmi	Kodu
Konut Sakinin Kiracı veya Malik	Mülkiyet	$x_1$
Konutun Apartman Dairesinde	Tür	$x_2$
Konutta Asansör Olup Olmaması	Asansör	$x_3$
Binadaki Toplam Kat Sayısı	Kat Sayısı	$x_4$
Konutun Apartmanda Bulunduğu	Kat	$x_5$
Konutun Bulunduğu Cephe	Cephe	$x_6$
Konutun Yaşı	Yaş	$x_7$
Konutun İçinin Yeni Yapılmış Olma	İçİ Yapılı	$x_8$
Konutun Brüt Alanı	Brüt Alanı	$x_9$
Konutun Toplam Oda Sayısı	Oda Sayısı	$x_{10}$
Konutun En Yakın Metro	Metro	$x_{11}$
Konutun Kaliteli Olması Durumu	Kalite	$x_{12}$
Konutun Kira Değeri	Kira	$x_{13}$

İncelenen yatırım alanında yapılan saha çalışmaları ve analiz sonuçlarına göre tahmin edilen en uygun modelin değişkenlerinin işaretleri ve büyüklüklerinin teorik beklentiye uygun olduğu ve tahmin edilen model ile konut piyasa değerinin kestiriminin yapılabileceği saptanmıştır. İncelenen yatırım alanından toplanan verilerle tahmin edilen modelin sonuçları; kira değeri, asansör olma durumu, oda sayısı ve istasyona olan uzaklık değişkenleri yönüyle incelenmiş ve değere ne oranda etki ettiği katsayılarıyla birlikte özet olarak verilmiştir (Tablo 4).

Tablo 4. Konut değeri üzerindeki değişkenlerin konut değerine etkileri

Değişkenler	Standartlaş- tırılmamış	Standartlaş- tırılmış kat	t	P	
	Katsayı	sayı			
	$\beta_i$	Standart Hata	Beta		
Sabit	10,9350	0,142		76,941	0,000
Kira Değeri	0,0005	0,000	0,329	5,826	0,000
Asansör Olma Durumu	0,2500	0,058	0,229	4,336	0,000
Oda Sayısı	0,2529	0,036	0,380	6,958	0,000
İstasyona Olan Uzaklık	-0,0003	0,000	-0,093	-1,824	0,070

Model	R	R2	Düzeltilmiş R <sup>2</sup>	Standart Hata	Durbin- Watson
1	0,691	0,477	0,467	0,24499	2,164

Çalışmada lineer ve log-lineer formlardan hangisinin kullanılacağı belirlenmiştir. Anket formundaki değişkenlerden anlamlı çıkanlar ile bir model oluşturulmuştur. Belirlenen değişkenler arasında çalışmanın diğer bölümlerinde bahsedilmeyen ‘kalite’ değişkeni mevcuttur. Konutun belirli bir kalitenin üzerinde olup olmadığı ile ilgili bir analiz yapılmış ve anket uygulanan bütün konutlarda 10 yaşına kadar olan konutlar, içi yapılı olan konutlar ve asansör olan konutlar ‘kaliteli’ olarak nitelendirilmiş ve bu değişken de analizde kullanılmıştır. Model oluşturmak için tespit edilen bütün değişkenler detaylı olarak değerlendirilmiştir. “Backward Elimination” metodu ile araştırılan ve alternatif olarak değerlendirilen bütün modellerin ve değişkenlerin anlamlılığı incelenmiştir.

Lineer Model:

$$P = \beta_0 + \beta_1 * \text{mülkiyet} + \beta_2 * \text{tür} + \beta_3 * \text{asansör} + \beta_4 * \text{binanın kat sayısı} + \beta_5 * \text{bulunduğu kat} + \beta_6 * \text{cephe} + \beta_7 * \text{yaş} + \beta_8 * \text{içi yapılı} + \beta_9 * \text{brüt alan} + \beta_{10} * \text{oda sayısı} + \beta_{11} * \text{metro istasyonuna uzaklık} + \beta_{12} * \text{kalite} + \beta_{13} * \text{kira} + \epsilon_i$$

Bu veriler çerçevesinde model oluşturabilmek için en fazla anlamlı sonuç çıkan log-lineer regresyon modeli tercih edilmiştir. Bu model üzerinde katsayıları anlamsız ve teorik beklentilere uygun olmayan katsayılara ait değişkenler modelden dışlanarak aşağıdaki model elde edilmiştir;

$$\ln P(x) = f(X_1, X_2, X_3, X_4)$$

Burada;

$$P(x) = \text{Konutun güncel değeri (TL)}$$

$$X_1 = \text{Kira değeri (TL)}$$

$$X_2 = \text{Asansör olma durumu (0-1)}$$

$$X_3 = \text{Oda sayısı (Adet)}$$

$$X_4 = \text{İstasyona olan uzaklık (m)}$$

Olarak belirlenmiş olup toplam gözlem sayısı 239’dur. Kaynak araştırması ve önceki araştırmaların sonuçlarına göre araştırmada doğrusal fonksiyon formlarının her biri ile ayrı ayrı denemeler yapılmış ve sonunda en uygun bulunan fonksiyon formuna ilişkin sonuçların analizi ve değerlendirilmesi yapılmıştır. Araştırma sonuçlarının raylı sistem ve diğer kentsel altyapı yatırımlarına yönelik projelerin geliştirilmesi ve değerlendirilmesi için karar organları ve uzmanlara yararlı ve yol gösterici olabileceği değerlendirilmiştir.

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

İncelenen yatırım alanında yapılan saha çalışmaları ve analiz sonuçlarına göre tahmin edilen en uygun modelin değişkenlerinin işaretleri ve büyüklüklerinin teorik beklentiye uygun olduğu ve tahmin edilen model ile konut piyasa değerinin kestiriminin yapılabileceği saptanmıştır.

Oluşturulan modelde bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkeni açıklama gücü (R Kare) 0,477 olarak hesaplanmıştır. Birimler arası farklılıktan dolayı kira değerine ait katsayı 0,000506 çıkmıştır. Kurulan yarı logaritmik modelde her bir bağımsız değişken için tespit edilen  $\beta_i$  katsayısı, bağımlı değişkeni kendi birimi cinsinden % ( $\beta_i \times 100$ ) kadar değiştirmektedir. Bu durumda kira değeri değişkeninde meydana gelen bir birimlik değişim konutun satış değerinde pozitif yönde % 0,05’lik değer değişimine sebep olmaktadır. Asansör olma durumunda meydana gelen değişim konut satış değerinde pozitif yönde % 25 oranında değer değişimine sebep olmaktadır. Oda sayısının bir birim değişmesi durumunda meydana gelen değişim konut satış değerinde pozitif yönde % 25,29 oranında değer değişimine sebep olmaktadır. Konutun en yakın metro istasyonuna 1 m uzak olması durumunda meydana gelen değişim konut satış değerinde negatif yönde % 0,037 oranında değer değişimine sebep olmaktadır.

Kamu yatırımlarının kentsel büyüme ve gelişim üzerinde etkili olduğu ve hatta tarihsel gelişim sürecinde birçok kentte büyümenin ulaşım akslarına paralel olarak geliştiği görülmektedir. İncelenen proje alanında, metro yatırımı inşa edilerek işletmeye açıldıktan sonra konut satış gelirinde artış olduğu tespit edilmiştir. Satış değerlerindeki artış oranı % 17,40 olarak saptanmış olup, maliklerin değer algıları ile model sonuçlarının tutarlılık gösterdiği anlaşılmaktadır. Konut sakini görüşlerine göre metro açıldıktan sonra, metro istasyonuna uzak olan konutların satış değeri % 17 ve yakın olan konutların satış değeri ise % 26 artmıştır.

Oluşturulan modele göre kira değeri, asansörü olma durumu ve oda sayısı bağımlı değişkeni pozitif yönde etkilediği görülmüştür. Yapılan araştırma sonucunda kira değeri, asansör olma durumu ve oda sayısının değeri pozitif yönde etkilemesi ve metro istasyonuna olan mesafenin değer ile negatif yönde etkileşim içerisinde olması teorik beklentilere uygun olarak gerçekleştiği görülmüştür. Ekonometrik yöntemlerin yanında, modelde, şehir planlamada kullanılan Mekansal Otokorelasyon’un gücü ölçülmüştür. Günümüzde Mekansal Otokorelasyonu ölçmek için çok sayıda yöntem mevcuttur. Mekansal Otokorelasyon ölçümü için yaygın kullanılan yöntemlerden biri Moran’ın I istatistikidir (Fischer ve Wang 2011). Mekansal otokorelasyonun testi için GeoDa uygulamasında Moran I testi uygulanmış olup konutun güncel değeri üzerinde kira değeri (TL), oda sayısı (adet), asansör olma durumu (0-1) değişkenleri negatif değer alırken mesafe

değişkeni pozitif değer aldığı görülmüş ve en güçlü mekânsal otokorelasyonun mesafe değişkeninde sağlandığı anlaşılmıştır.

Ulaşım sistemleri ve arazi kullanımı arasında güçlü bir ilişki bulunmakta ve gayrimenkullerin kullanım biçimleri ve değerlerini etkileyen temel faktörlerin başında erişilebilirlik gelmektedir. Özellikle kentlerde toplu taşıma ve raylı ulaşım sistemlerinin yaygınlaştırılması, yolcu taşıma kapasitesinin artırılmasına olanak vermekte ve gelecek nesillere daha yaşanabilir doğal ve yapılı çevrenin miras olarak bırakılması hedefine ulaşmaya önemli ölçüde katkı yapmaktadır. Bu çalışmada “değer” ve “erişilebilirlik” kavramları vurgulanarak seçilmiş proje örneği çerçevesinde ulaşım sistemleri ve özellikle metro projelerinin konut değerine etkileri irdelenmiştir.

Kent ve yakın çevresinde arazi kullanımı ve ulaşım ilişkileri; 1950’lerden sonra birçok araştırmaya konu olmuş ve erişilebilirliğe bağlı olarak gayrimenkullerin kullanımları ve değerlerindeki değişim analizi yapılmıştır. Öncekilere benzer biçimde bu araştırmada incelenen metro hattının çevresindeki konutların değerlerini etkileyebilen temel faktörlerden birinin de ulaşım sistemlerine olan mesafe olduğu tespit edilmiştir. Ancak ulaşım projelerinin geliştirilmesi ve proje değerlendirme çalışmalarında mekâna yansımaları ve özellikle projenin neden olabileceği değer artışının ölçülmesi ve bunun fayda-maliyet analizine katılmasının genellikle ihmal edildiği bilinmektedir. Bu çalışmada; metro yatırımlarının konut satış değerinde meydana getirdiği değişikliğin ortaya konulması ile yatırımların ekonomik ve sosyal etki değerlendirme çalışmaları ve özellikle sosyal fayda-masraf analizi çalışmaları için önemli bir altlığın oluşturulması temel hedef olarak tespit edilmiştir.

Ulaşım projelerinin neden olabileceği konut değer artışının ölçülmesinden sonra değer artışının belirli bir oranının proje finansal modelinde kullanımına yönelik yasal ve kurumsal düzenleme yapılması ve proje finansmanında kullanılacak araçların çeşitlendirilmesine gereksinim bulunmaktadır. Belirtilen çalışmaların yapılabilmesi için ulusal, bölgesel ve yerel düzeylerde ulaşım projelerinin türlerine göre neden olabileceği değer artışlarının ölçülmesi, konut değer artışlarının bileşenlerine göre ayrılması ve projelerin finansal modelleme ve risk analizlerin de dâhil belirtilen konularda kapsamlı uygulamalı araştırma projelerinin planlanması ve ulaşım araştırmaları ve lisansüstü eğitim politikalarının yeniden düzenlenmesine ihtiyaç olduğu vurgulanmalıdır. Yatırım projelerinin sabit giderleri, kaynak maliyetleri ve gelir üretme potansiyelleri ile kamu yararı veya daha genel olarak toplum yararı yönlerinden kentsel ulaşım yatırımlarına yönelik politikaların yeniden düzenlenmesine gereksinim olduğu ve makro ve yerel düzeylerde belirtilen biçimde politika değişikliğine gidilmesine gereksinim olduğu ortaya çıkmaktadır. Metro istasyonunun uzaklık mesafe hangi yöntemle ölçülürse ölçülsün, konuta ait diğer değişkenlerle birlikte konutun değerini değiştirdiği anlaşılmıştır. Konut değerine etki eden bütün faktörlerin, o konutun değerini ne derece etkilediğini belirtmek hem metro projelerinin geliştirilmesi, proje değerlendirme ve proje finansal modelinin tespiti ve uygulanması yönlerinden önem teşkil etmektedir. Bu sebeple yerel ve merkezi idare ile özel kurumların kapsamlı saha çalışmalarına dayalı analizlerin yapılması ve sonuçlarına göre yatırım kararlarının verilmesi zorunlu görülmektedir.

## Kaynakça

- Ayvaz, Ö. (2002). Emlak Fiyatlarının Hedonik Model ile Araştırılması: İzmir Örneği. Yüksek Lisans Tezi (basılmamış). Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, 151 s., İzmir.
- Ahlfeldt, G.M. (2013). If We Build It, Will They Pay? Predicting Property Price Effects of Transport Innovations. *Environment and Planning A*, 45(8), 1977-1994.
- Al-Mosaind, M.A., Dueker, K.J. ve Strathman, J.G. (1993). Light Rail Transit Stations and Property Values: A Hedonic Price Approach. in: *Planning and Programming, Land Use, Public Participation, and Computer Technology in Transportation, Transportation Research Record*, 1400(1), 90-94.
- Belniak, S. & Wiczorek, D. (2017). Property valuation using hedonic price method – procedure and its Application, *Technical Transactions*, 6/2017: 59-70.
- Blackledge, M. (2016). *Introducing Property Valuation*, Routledge, Second Edition, 196, UK.
- Cervero, R., (1994). Rail Transit and Joint Development: Land Impacts in Washington, D.C. and Atlanta, *APA Journal*, Winter, 60(1), 83-94.
- Çelik, H.M. (2003). Türk Planlama Sisteminin Dünya Planlama Teorisindeki Yeri ve Açmazları, *Planlama Dergisi*, 3(4), 93-106.
- Çil, N. (2010). *Ekonometri Ortak Ders Kitabı*. İstanbul Üniversitesi Açık ve Uzaktan Eğitim Fakültesi, 129, İstanbul.
- Debrezion, G., Pels, E. ve Rietveld, P. (2007). The Impact of Railway Stations on Residential and Commercial Property Value: A Meta-Analysis. *The Journal of Real Estate Finance and Economics*, 35(2), 161-180.
- Debrezion, G., Pels, E. & Rietveld, P. (2011). The Impact of Rail Transport on Real Estate Prices: An Empirical Analysis of the Dutch Housing Market, *Urban Studies*, 48(5): 997–1015.
- Diaz, R. (1999). Impacts of Rail Transit on Property Values, *Proc. of 1999 Commuter Rail/Rapid Transit Conference*.
- Du, H. ve Mulley, C. (2007). The Short-Term Land Value Impacts of Urban Rail Transit: Quantitative Evidence From Sunderland. *Land Use Policy*, 24(1), 223-233.
- Durmuş, B., Yurtkoru, S. & Çinko, M. (2013). *Sosyal Bilimlerde SPSS’le Veri Analizi*. Beta Yayınevi, 215 s., İstanbul.
- Forrest, D., Glen, J. ve Ward, R. (1996). The Impact of a Light Rail System on the Structure of House Prices: A Hedonic Longitudinal Study. *Journal of Transport Economics and Policy*, 15(1), 15-29.
- Fischer, M.M. & Wang, J. (2011). *Spatial Data Analysis: Models, Methods and Techniques*. Springer Science & Business Media, 71, Austria.
- Gamgam, H., & Altunkaynak, B. (2015). Regresyon Analizi. En Küçük Kareler-Değişen Seçme-Regresyon Tanıları, Seçkin Yayıncılık, İstanbul.
- Ge, X.J., Macdonald, H. & Ghosh, S. (2012). Assessing the Impact of Rail Investment on Housing Prices in North-West Sydney. 18th Annual Pacific-RIM Real Estate Society Conference, Adelaide, 15-18 January 2012, Australia.
- Gülhan, G. (2018). Raylı Sistem Yatırımlarının Emlak Vergilerine Etkisi ve Mekânsal Değişim Potansiyellerinin Değerlendirilmesi: Kazlıçeşme-Söğütluçeşme Metro Hattı Örneği. *International Journal of Human Sciences*, 15(4): 2029-2046.

- Hansen, W.G. (1959). How Accessibility Shapes Land-Use, *Journal of the American Institute of Planners*, 25(2): 1959.
- Kartal, U. & Çorum, A. (2020). Konut Fiyatını Belirleyen Regresyon Denklemi: Maltepe İlçesi Örneği, *Int. J. Adv. Eng. Pure Sci.* 2020, 1: 57-67.
- Kaya, A. (2012). Türkiye’de Konut Fiyatlarını Etkileyen Faktörlerin Hedonik Fiyat Modeli İle Belirlenmesi, *Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası İstatistik Genel Müdürlüğü, Uzmanlık Yeterlilik Tezi*, Ankara.
- Kheyroddin, R., Taghvaei, A. & Forouhar, A. (2014). The Influence of Metro Station Development on Neighbourhood Quality. The Case of Tehran Metro Rail System, *International Review for Spatial Planning and Sustainable Development*, 2(2):64-75.
- Martellato, D., Nijkamp, P. & Reggiani, A. (1998). Measurement and Measures of Network Accessibility: Economic Perspectives, in: K. Button, P. Nijkamp and H. Priemus (Eds) *Transport Networks in Europe*, Northampton: Edward Elgar, UK, ss.161–182.
- Mathur, S. & Smith, A. (2013). Land Value Capture to Fund Public Transportation Infrastructure: Examination of Joint Development Projects’ Revenue Yield and Stability. *Transport Policy*, 30: 327-335.
- Monson, M. (2009). Valuation Using Hedonic Pricing Models, *Cornell Real Estate Review*, 7: 62-73.
- Ortiz, A. (1996). Economic Analysis of Land Value Capture System Used to Finance Road Infrastructure: The Case of Bogotá, Colombia. (Doctoral Dissertation) Available from ProQuest Dissertations and Theses database (UMI No. 9712389), Spain.
- Pacheco-Raguz, J.F. (2010). Assessing the impacts of Light Rail Transit on urban land in Manila.
- Rosen, S. (1974). Hedonic Pricing and Implicit Markets: Product Differentiation in Pure Competition, *Journal of Political Economy*, 82(1): 34–55.
- Sands, B.D. (1993). The Development Effects of High-speed Rail Stations and Implications for California. The University of California Transportation Center, UCTC Working Paper No. 115. Berkeley, USA.
- So, H.M., Tse, R.Y.C. ve Ganesan, S. (1997). Estimating the Influence of Transport On House Prices: Evidence From Hong Kong. *Journal of Property Valuation and Investment*, 15(1), 40-47.
- Syabri, I. (2011). The Influence of Railway Station on Residential Property Values-Spatial Hedonic Approach the Case of Serpong’s Railway Station, *Jurnal Teknik Sipil*, 18 (3): 291-300.
- Tanrıvermiş, H. (2017). Gayrimenkul Değerleme Esasları, SPL Sermaye Piyasası Lisanslama Sicil ve Eğitim Kuruluşu, Lisanslama Sınavları Çalışma Kitapları Ders Kodu: 1014 (Konut Değerleme Sınavı, Gayrimenkul Değerleme Sınavı), Ankara.
- Temurlenk, M. S. & Özçelik, A. (2003). Erzurum’da Konut Kiralarının Hedonik Model Yaklaşımıyla İncelenmesi. VI. Ulusal Ekonometri ve İstatistik Sempozyumu 2003. Gazi Üniversitesi, 38; 37-57, Ankara.
- Triplett, J. (2006). *Handbook on Hedonic Indexes and Quality Adjustments in Price Indexes*. Organization for Economic Cooperation and Development, Paris.
- Ünal, A.O. & Tanrıvermiş, H. (2019). Raylı Sistem Projelerinin Gayrimenkul Değerine Etkisi: Ankara İli Keçiören İlçesi M4 Metro Hattı Projesi Örneği, *Kastamonu Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 21(2):29-55.
- Wardship, K. (2011). Public Transit’s Impact on Housing Costs: A Review of the Literature. Centre for Housing Policy, *INSIGHTS from Housing Policy Research*.
- Yankaya U. & Çelik M. (2005). İzmir Metrosunun Konut Fiyatları Üzerindeki Etkilerinin Hedonik Fiyat Yöntemi İle Modellenmesi. *Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 20(2); 61-79.
- Yankaya U. & Çelik M. (2007). Kamu Ulaşım Yatırımlarının Gayrimenkul Değerleri Üzerine Etkisinin Modellenmesi: İzmir Metrosu Örneği. *İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mimarlık Fakültesi*, 258-270.
- Zhao, Z., Iacono, M., Lari, A. & Levinson, D. (2012). Value Capture for Transportation Finance. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. 48: 435-448.





## Instant SNR Estimation on Digital Symbols

Mete Yıldırım<sup>1\*</sup>, Radosveta Sokullu<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Ege University, Faculty of Engineering, Department of Electrical and Electronics, İzmir, Turkey, (ORCID: 0000-0001-6335-4752), meteyildirim2005@gmail.com

<sup>2</sup> Ege University, Faculty of Engineering, Department of Electrical and Electronics, İzmir, Turkey, (ORCID: 0000-0002-3544-0319), radosveta.sokullu@ege.edu.tr

(First received 28 December 2020 and in final form 7 November 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.848274)

**ATIF/REFERENCE:** Yıldırım, M. & Sokullu, R. (2021). Instant SNR Estimation on Digital Symbols. *European Journal of Science and Technology*, (27), 644-648.

### Abstract

Signal-to-noise ratio is a very important parameter that must be known in order to make many communication systems to work efficiently. The determination of Signal-to-noise ratio may cause extra cost, complexity or can cause a decrease in the efficiency of resource allocation depending on the method used. The machine learning methods offer a practical solution while eliminating these negative aspects with supervised learning and offline training. Deep learning stands out with its success as a type of machine learning. In this study, the estimation of the instantaneous value of the signal to noise ratio in digital symbols was investigated using the deep learning technique.

**Keywords:** Communication, Deep Learning, Estimation, Machine Learning, SNR

## Sayısal Sembollerde Anlık SNR Kestirimi

### Öz

Sinyal-gürültü oranı, birçok haberleşme sisteminin verimli çalışabilmesi için bilinmesi gereken çok önemli bir değerdir. Bu değer belirlenmesi, kullanılan yöntemle ilgili olarak ekstra maliyete, karmaşıklığa veya kaynak tahsisinin verimliliğinde düşüşe neden olabilir. Makine öğrenimi yöntemleri, denetimli öğrenme ve çevrimdışı eğitim ile bu olumsuz yönleri ortadan kaldırırken pratik çözüm yolları sunarlar. Derin öğrenme, bir tür makine öğrenimi olarak başarısıyla öne çıkmaktadır. Bu çalışmada, dijital sembollerdeki sinyal-gürültü oranının anlık değerinin tahminin derin öğrenme tekniği kullanılarak yapılması incelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Haberleşme, Derin Öğrenme, Kestirim, Makine Öğrenimi, SNR

\* Corresponding Author: [meteyildirim2005@gmail.com](mailto:meteyildirim2005@gmail.com), [mete.yildirim@mail.ege.edu.tr](mailto:mete.yildirim@mail.ege.edu.tr)

## 1. Introduction

Signal to Noise Ratio (SNR) is vitally important parameter for all telecommunication systems. The evaluation of performance of communication systems, spectrum management, relay selection in cooperative communication, channel resource allocation, adaptive modulation & coding and transmission power control requires prior knowledge of SNR. Besides, for optimal performance, many systems require knowledge of SNR (Bogale & Vandendorpe, 2014; Nandakumar et al., 2019; Rasouli & Anpalagan, 2010; Santos Filho et al., 2018; Thilina, Choi, Saquib, & Hossain, 2013; Xiang, Johnston, & Le Goff, 2017; Xie, Zhang, Guo, & Zhao, 2019; Yıldırım & İlhan, 2014).

The SNR estimation methods can be classified into two: Data aided and Non-data aided estimation (Abeida, 2010; Salman, Badawy, Elfouly, Khattab, & Mohamed, 2014). The first one generally requires the transmission of a data that is known to receiver. This data can be in various size and has to be transmitted very often during transmission. The duration and frequency of this data may change with the channel condition. Definitely this introduces waste of resources. On the other hand, this method is very practical to use due to its simplicity. Furthermore, the data transmitted for channel estimation and equalization can also be used for SNR estimation. In this case the amount of useless data is reduced but not completely eliminated. This approach does not use some data to estimate SNR but use more complex algorithm that requires more power, calculation capacity and etc.

Machine learning, especially deep learning has proved to be very useful in many fields. It can reduce complex mathematical burden to a simple training and prediction procedure. A many time, the researchers in the field of electronic communication has to deal complex mathematical equations to introduce solutions to the existing problems. This has become more apparent with scarcity of resources and use of higher frequencies. Hence, we observe many studies that use deep learning as a tool to address the problems. Not all but among some important works, in (Farsad & Goldsmith, 2018; Samuel, Diskin, & Wiesel, 2019; Ye, Li, & Juang, 2017) signal detection, in (Farsad, Rao, & Goldsmith, 2018; Gruber, Cammerer, Hoydis, & Brink, 2017; Nachmani et al., 2018) channel encoding and decoding, in (He, Wen, Jin, & Li, 2018; Wang, Narasimha, & Heath, 2018; Wen, Shih, & Jin, 2018) channel estimation, prediction, and compression, in (Challita, Dong, & Saad, 2018; Daniels & Heath, 2009; Sun et al., 2018; Va, Choi, Shimizu, Bansal, & Heath, 2017) resource allocation are studied.

Driven with influence of deep learning (DL) on addressing problem solutions related to electronics communication system, in this study, we examine the performance of instant SNR estimation with DL on binary shift key modulated symbol in additive white gaussian channel with optimized model approach.

In the next section, we introduce deep learning theory briefly.

## 2. Deep Learning

The learning of Neural network is generally categorized into two classes namely supervised and unsupervised learning. The unsupervised learning is evaluated as the most promising learning method yet it is considered in its baby state. Hence, the supervised learning is mostly used learning strategy currently. The supervised learning requires only well labelled data. This data is used to train a model. Then, the trained model is used for prediction either for

classification or regression procedure. The trained model is produces nothing but a matrix that is used to multiply input the produce output. The matrix size defined with the number of input features, output classes, neurons and layers.

The deep learning model is nothing but a neural network with more and more layers, neurons and, complex connections. The deep learning model capacity has not been proved mathematically yet. Hence the studies aim to provide better results to the existing results for a particular study practically by building and training the developed models by inspiration.

The deep learning models often categorize as convolution neural network (CNN), recurrent neural network (RNN) and fully connected neural network (DNN). CNN mostly is used in image processing, RNN is used natural language processing and DNN is a general structure more likely ordinary NN and it may be used where NN is employed mostly.

The fully connected(dense) neural network is a feedforward NN. It uses iterative processing and maps the input features to the desired output. The mapping from a layer to the next layer is given as  $r_i = f_i(r_{i-1}, \theta_i)$ ,  $i = 1, \dots, I$  for  $I$  iteration, where  $\theta_i = (W_i, b_i)$  is the set of parameters. In the case of dense layer, the mapping takes the form of  $\sigma(W_i r_{i-1} + b_i)$ , where  $\sigma(\cdot)$  is known activation function. The objective of the training is to

minimize the loss  $L(\theta) = \frac{1}{S} \sum_{k=1}^S l(r_{L,k}^*, r_{L,k})$  where  $S$  is number of training data,  $l(\cdot)$  is the lost for  $k^{th}$  training input,  $L(\cdot)$  is the average loss. The lost function is chosen to with respect to objective. For example, for multiclass case Categorical cross-entropy or for regression mean squared estimation (MSE) may be desired choice. The stochastic gradient decent is well known algorithm to find the set of parameters  $\theta$ . The SGD uses random initial values,  $\theta = \theta_0$ , which are generally very small numbers and taken from some well-known distribution (ex. Normal distribution) and updates as  $\theta_{t+1} = \theta_t - \eta \nabla \tilde{L}(\theta_t)$  where  $\eta$  is the step size or learning rate,  $\nabla(\cdot)$  is the gradient and  $\tilde{L}$  is a batch from training set. The more on the theory can be found in (Goodfellow, Bengio, & Courville, 2016).

## 3. The Model Implementation

### 3.1. Step 1: Data Preparing

The first step of any machine learning is the prepare data intended to use to train the model. The designer should decide what data with what features are to be used. The baseband communication requires no up-conversion and the data is transmitted only after modulation. The bandpass modulation requires up-conversion but it can be represented in baseband with complex form. In summary, a received symbol may be given in the form of  $a + jb$  where we consider the noise is already added and it can represent any form of amplitude-phase modulation. The noise is considered, AWGN, the independent but identically distributed for every symbol. We assume we already know the

power of added noise in dB. The number of features of data basically only two since the data has only two dimensions. That is a and b. We know that the NN model cannot make use of the imaginary part, hence we only use its amplitude. Some samples data are given in Table 1. This is only for demonstration purpose. We mean that the input data can be organized in a variety of ways such as more symbols can be arranged to apply the inputs of model as long as it is ensured that all the symbols applied to input at the same time has the same power of the noise. If only one symbol is decided to apply to the model input, some feature engineering can be considered to apply. Generally, we need so many symbols to train a model. So many symbols are created then they are put in the form of Table.1. The Figure 1 shows BPSK symbols at the receiver and transmitter end. The received symbols are noisy but for clear demonstration it is kept relatively small and in reality it can be severely bad.

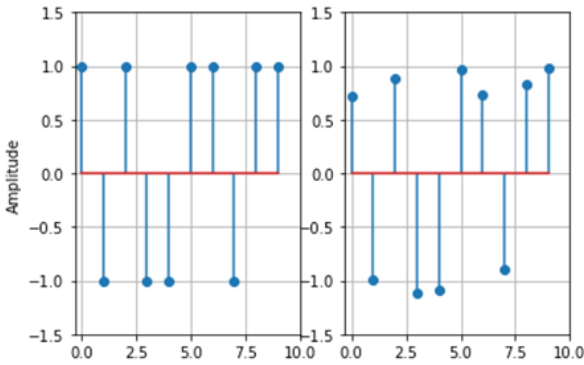


Figure 1. The transmitter and the received information

### 3.2. Step 2: Training, Evaluation and Testing

The prepared data is divided into three. We keep %20 and %10 for evaluation and testing of the model while the rest is kept for training. The model given in Figure 4 is used and trained. As seen from the figure, 8 symbols are used for input feeding. The model uses tanh (1) for all layers except last layer which keeps the default, the linear activation function. Adam is used as optimizer for the model while mean square error (MSE) used as loss function.

$$\tanh(x) = \frac{\exp(x) - \exp(-x)}{\exp(x) + \exp(-x)} \quad (1)$$

The model learning rate is defined as 0.001 and the number of epochs is set 80. The training and validation loss is shown Figure 2. The figure promises well-fitted behavior hence we are assured of model success.

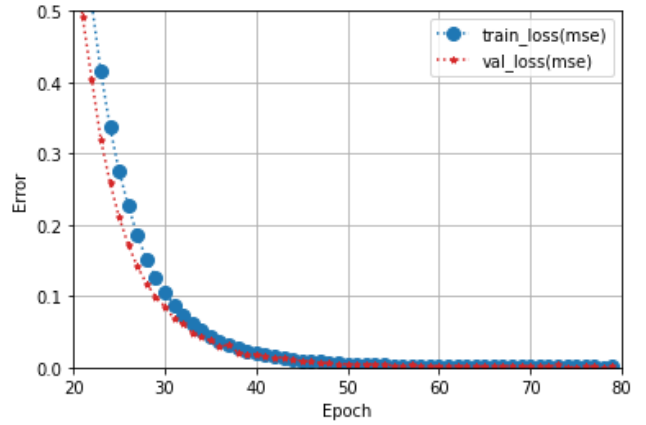


Figure 2. Model loss

The model is tested on the testing data. The results are both represented in both tabularly and graphically. The samples MSE from Table 2 shows that the average error is on the order of  $10^{-2}$ . The estimated and ground truth noise level given Figure 3 shows promising matching pattern.

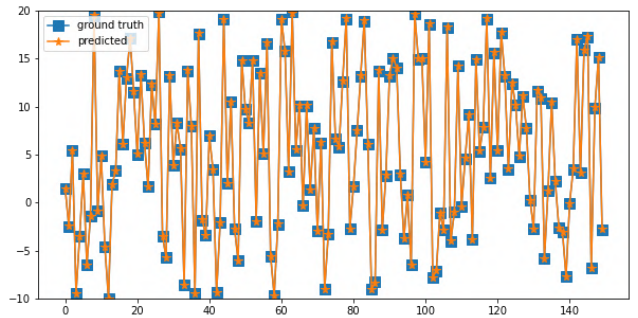


Figure 3. Real SNR (dB) and predicted SNR

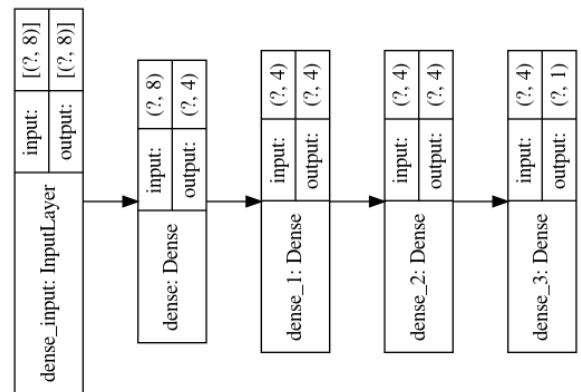


Figure 4. The fully connected model

Table 1. The data samples

Tx Symbol	Rx Symbol	Input Features	Ground Truth(dB)
1	-0.746287-1.746287j	(-0.746287, -1.746287)	0
1	2.97974585+1.97974585j	( 2.979745, 1.979745)	-5
-1	-0.94145464+0.05854536j	(-0.941454, 0.058545)	10

Table 2. Real SNR vs. Predicted

Test Data SNR in dB	Estimated SNR in dB
3.558581	3.5815442
6.887164	6.852639
4.028512	4.0411315
-0.539802	-0.5364828
12.707294	12.694737
6.487479	6.4526787
-6.809761	-6.7699556
4.572642	4.5716085
-5.765522	-5.725233
-6.447449	-6.4061546

## 4. Conclusions

The instant SNR estimation of digital symbols are done in AWGN channel. A deep learning model is used for estimation. The model is trained offline and estimation is done instantly. This can be considered as non-data aided estimation method. The superiority of the machine learning method stems from the fact that it does not require complex calculations such as non-data aided estimation, and consequently it reduces the cost and promises more speed.

## References

- Abeida, H. (2010). Data-aided SNR estimation in time-variant Rayleigh fading channels. *IEEE transactions on signal processing*, 58(11), 5496–5507. IEEE.
- Bogale, T. E., & Vandendorpe, L. (2014). Max-Min SNR signal energy based spectrum sensing algorithms for cognitive radio networks with noise variance uncertainty. *IEEE transactions on wireless communications*, 13(1), 280–290. IEEE.
- Challita, U., Dong, L., & Saad, W. (2018). Proactive resource management for LTE in unlicensed spectrum: A deep learning perspective. *IEEE transactions on wireless communications*, 17(7), 4674–4689. IEEE.
- Daniels, R. C., & Heath, R. W. (2009). An online learning framework for link adaptation in wireless networks. *2009 Information Theory and Applications Workshop* (pp. 138–140). IEEE.
- Farsad, N., & Goldsmith, A. (2018). Neural network detection of data sequences in communication systems. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 66(21), 5663–5678. IEEE.
- Farsad, N., Rao, M., & Goldsmith, A. (2018). Deep learning for joint source-channel coding of text. *2018 IEEE International*
- Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)* (pp. 2326–2330). IEEE.
- Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). *Deep Learning*. MIT Press.
- Gruber, T., Cammerer, S., Hoydis, J., & Brink, S. ten. (2017). On deep learning-based channel decoding. *2017 51st Annual Conference on Information Sciences and Systems (CISS)* (pp. 1–6). IEEE.
- He, H., Wen, C.-K., Jin, S., & Li, G. Y. (2018). Deep learning-based channel estimation for beamspace mmWave massive MIMO systems. *IEEE Wireless Communications Letters*, 7(5), 852–855. IEEE.
- Nachmani, E., Marciano, E., Lugosch, L., Gross, W. J., Burshtein, D., & Be'ery, Y. (2018). Deep learning methods for improved decoding of linear codes. *IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing*, 12(1), 119–131. IEEE.
- Nandakumar, S., Velmurugan, T., Thiagarajan, U., Karuppiah, M., Hassan, M. M., Alelaiwi, A., & Islam, M. M. (2019). Efficient Spectrum management techniques for cognitive radio networks for proximity service. *IEEE Access*, 7, 43795–43805. IEEE.
- Rasouli, H., & Anpalagan, A. (2010). SNR-based vs. BER-based power allocation for an amplify-and-forward single-relay wireless system with MRC at destination. *2010 25th Biennial Symposium on Communications* (pp. 429–432). IEEE.
- Salman, T., Badawy, A., Elfouly, T. M., Khatlab, T., & Mohamed, A. (2014). Non-data-aided SNR estimation for QPSK modulation in AWGN channel. *2014 IEEE 10th International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob)* (pp. 611–616). IEEE.
- Samuel, N., Diskin, T., & Wiesel, A. (2019). Learning to detect. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 67(10), 2554–2564. IEEE.
- Santos Filho, J. C. S., González, D. C., Wolf, A., Mendes, L. L., Yacoub, M. D., & Fettweis, G. (2018). SNR-Aware Power Allocation Scheme for Lossy-Forward Relaying Systems.

- IEEE Wireless Communications Letters*, 7(6), 1018–1021. IEEE.
- Sun, H., Chen, X., Shi, Q., Hong, M., Fu, X., & Sidiropoulos, N. D. (2018). Learning to optimize: Training deep neural networks for interference management. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 66(20), 5438–5453. IEEE.
- Thilina, K. M., Choi, K. W., Saquib, N., & Hossain, E. (2013). Machine learning techniques for cooperative spectrum sensing in cognitive radio networks. *IEEE Journal on selected areas in communications*, 31(11), 2209–2221. IEEE.
- Va, V., Choi, J., Shimizu, T., Bansal, G., & Heath, R. W. (2017). Inverse multipath fingerprinting for millimeter wave V2I beam alignment. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 67(5), 4042–4058. IEEE.
- Wang, Y., Narasimha, M., & Heath, R. W. (2018). MmWave beam prediction with situational awareness: A machine learning approach. *2018 IEEE 19th International Workshop on Signal Processing Advances in Wireless Communications (SPAWC)* (pp. 1–5). IEEE.
- Wen, C.-K., Shih, W.-T., & Jin, S. (2018). Deep learning for massive MIMO CSI feedback. *IEEE Wireless Communications Letters*, 7(5), 748–751. IEEE.
- Xiang, W., Johnston, M., & Le Goff, S. (2017). Low-complexity power control and energy harvesting algorithms for wiretap channels employing finite-alphabet input schemes. *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, 13(2), 318–326. IEEE.
- Xie, S., Zhang, B., Guo, D., & Zhao, B. (2019). Performance analysis and power allocation for NOMA-based hybrid satellite-terrestrial relay networks with imperfect channel state information. *IEEE Access*, 7, 136279–136289. IEEE.
- Ye, H., Li, G. Y., & Juang, B.-H. (2017). Power of deep learning for channel estimation and signal detection in OFDM systems. *IEEE Wireless Communications Letters*, 7(1), 114–117. IEEE.
- Yıldırım, M., & İlhan, H. (2014). Relay selection in OFDM based two-way cooperative systems. *2014 11th International Conference on Electronics, Computer and Computation (ICECCO)* (pp. 1–4). IEEE.



# Bilişim Sistemi Tasarımı Aşamasında İlişkisel Veri Modelleme: İki Veri Modelinin Değerlendirmesi

Doğan Yıldız<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> Türk Havacılık ve Uzay Sanayii A.Ş. (TUSAŞ), Bilgi Teknolojileri Başkanlığı, Ankara, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-0946-7251), [dyildiz2000@gmail.com](mailto:dyildiz2000@gmail.com)

(İlk Geliş Tarihi 28 Şubat 2021 ve Kabul Tarihi 3 Kasım 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.888310)

**ATIF/REFERENCE:** Yıldız, D. (2021). Bilişim Sistemi Tasarımı Aşamasında İlişkisel Veri Modelleme: İki Veri Modelinin Değerlendirmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (27), 649-657.

## Öz

Günümüzde insan, özel hayatında veya iş hayatında birçok işlemi bilgi sistemleri ile yapmaktadır. Bu işlemleri yaparken bilgi sistemlerinin ekranları vasıtası ile bilgi girişinde bulunur ve sonuçta bir çıktı elde eder. Bu girdilerin ve çıktılarının bilgi sistemlerinde tutulduğu yer veri tabanlarıdır. Bilgi sistemlerinin temeli veri tabanıdır. İyi bir veri tabanının da temeli veri tabanı modelinin iyi bir şekilde kurgulanmasıdır. Veri tabanının doğru bir şekilde kurulması hem kullanıcılar hem de sistem geliştiriciler açısından önemlidir. Bu çalışmanın amacı hem uygulayıcılar hem de araştırmacılara, bilişim sistemi tasarımının veri modeli oluşturulması aşamasında veri modelinin kalitesini ölçmek için bir değerlendirme sunmaktır. Kapsamında ise ilişkisel veri tabanı modellemesi ve kalitesi ile ilgili olarak yapılan çalışmalar, veri modelleme yöntem ve hususları ele alınmıştır. Uygulama kısmında ise veri modeli puan kartı ile hizmet işletmesindeki sorun bildirim ve araç yönetim sistemlerine ait veri modellerinin inceleme sonuçlarına yer verilmiştir. Buna dayalı olarak da değerlendirmeler ve öneriler sunulmuştur. Sonuçta birinci veri modeli model 83 puan ile iyi, ikinci veri modeli ise 68 puan ile orta üstü olgunluk seviyesinde yer almıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Veri modeli, E-R modelleme, İlişkisel veri tabanı, Veri modeli kalitesi, Bilgi sistemi, Tasarım.

## Relational Data Modeling in Information System Design Phase: Evaluation of Two Data Models

### Abstract

Today, people do many operations in their private or business life with information systems. While doing these operations, they enter data through the screens of the information systems and ultimately obtains an output. The databases are where these inputs and outputs are kept in the information systems. The basis of information systems is the database. The basis of a good database is to design a good database model. Therefore, the correct establishment of the database is important for both users and system developers. The aim of this study is to present an evaluation to both practitioners and researchers to measure the quality of the data model at the stage of creating a data model of information system design phase. In its scope, studies on relational database modeling and quality, data modeling methods and issues are discussed. In the application part, the results of the data model scorecard and the data models of the problem notification and vehicle management systems in the service company are included. Based on this, evaluations and recommendations are presented. As a result, the first data model was good with 83 points, and the second data model was at the upper-intermediate maturity level with 68 points.

**Keywords:** Data model, E-R modeling, Relational database, Data model quality, Information system, Design.

\* Sorumlu Yazar: [dyildiz2000@gmail.com](mailto:dyildiz2000@gmail.com)

## 1. Giriş

Veri modelleme, bilgi sistemi geliştirme projelerinin en önemli adımlarından bir tanesidir. Geliştirilecek olan sistem yazılımı, tamamen bu veri modelinin dönüşeceği veri tabanı üzerinde çalışacak ve kullanıcıların sisteme girmiş oldukları ve sistemden çekmek istedikleri veriler bu veri tabanında saklanacaktır. Dolayısı ile veri modelinin doğru bir şekilde kurgulanması çok önemlidir. Veri modelinin doğru bir şekilde kurgulanmaması durumunda ileriki aşamalarda yazılımın performansında ve bakımında sorunlar yaşanabilmektedir. Veri modelleme çalışmaları sistem analizi aşamasında elde edilen gereksinimlerin sistem tasarımı haline dönüştürülmesi aşamasında yapılmaya başlanmaktadır. İlk aşamada konsept veri modeli ardından da fiziksel veri modeli çıkarılmaktadır. Özellikle kullanıcı gereksinimlerinin ve sistem ekranlarında yer alan tüm alanların veri modellemesi içerisinde kapsanması ve ilgili varlıkların (tablo) birbiri ile ilişkilerinin ve ayrıca tablo içerisinde yer alacak olan alanların özelliklerinin çok iyi bir şekilde belirlenmesi gerekmektedir.

Veri modellemesi çalışması yazılım geliştirme ömür devrinde iş analistinin sorumluluğunda olması da ayrı bir önem arz etmektedir. Çünkü iş analisti, sistem analizi kapsamında kullanıcıdan gereksinimleri alırken ve ardından da sistem tasarımı yaparken hem gereksinimlere hem de sistem yapısına çok iyi bir şekilde hâkim olacağı için veri modellemesinin sistem analizi ve tasarımı aşamasında ortaya konulması ve iş analistinin konsept olarak bu çalışmayı bizzat ele alması önemlidir. Yapılan çalışma daha sonraki aşamalarda hem yazılımı yapacak olan uzman hem de veri tabanı uzmanı tarafından gözden geçirilmeli fiziksel veri modeline döndürülmesi gerekmektedir.

Bu alanda yazın alan incelendiğinde şu çalışmalar dikkat çekmektedir.

Codd (1970), “Büyük Paylaşılan Veri Bankaları İçin İlişkisel Veri Modeli” çalışması ile ilişkisel model ve normal form hakkında ilk bilgileri sunmuştur. Bu çalışmasının ardından Codd (1979), bir diğer çalışması olan “Daha Fazla Anlam Yakalamak İçin İlişkisel Veri Tabanı Modelini Genişletmek” adlı çalışmasında ise ilişkisel veri tabanı modelini tanımlamıştır. Codd (1982), “İlişkisel Veri tabanı: Verimlilik için Pratik Bir Temel” adlı bir diğer çalışmasında ise geliştirdiği argümanlar ile ilişkisel veri tabanını hem son kullanıcı hem de yazılımcılar için önemli gelişmeler sağlayacağı şeklinde ifade etmiştir. Thalheim (2000), veri modellemesinde kaliteli modelleme için mümkünse hiç tekrar olmamalı, duruma göre bazen çok az veya gereği kadar tekrar olmalı, uygulama esnasında kısıt getirmemeli, gerektiği kadar bütünlük kısıtlarını barındırmalı, değişiklik veya ilavelere karşın esnek olmalı, minimal bir yapıda olmalıdır şeklinde gerekleri listelemiştir. Bunun yanında kötü tasarlanmış olan bir veri modeli güvenilir olmayabilir, fazla veya doğru olmayan veriler içerebilir, performansı kötü olabilir, esnek olmayabilir ve farklı anomaliler gösterebilir. Ayrıca, bazı yaygın hataları da sıralamıştır. Bunlar; tek bir tabloda kolonlar halinde tasarım, birden fazla tablo elemanını tek bir elemanda birleştirilmesi, hiçbir anahtar tanımlanmaması veya anahtarların kötü ve yanlış tanımlanması, müşteri ihtiyaçlarını kapsamaması, kapsam dışına çıkılması, ilişkilerin yer almaması veya yanlış veya çok ilişki olması, çoklu ilişkiler, aynı tablo ve alan isimlerinin tekrarı, gelecekte yapının büyüyebileceğini düşünmeden tasarım yapılması, anahtar değerlerin boş olabileceği şeklindedir. Chmura & Heumann (2005), eserlerinde bir örnek ile tüm mantıksal veri

modellemesinin nasıl yapılabileceğini aktarmışlardır. Bunun yanında tasarım deseni örnekleri ile mantıksal veri modelinde en uygun önerileri sunmuşlardır. Ayrıca mantıksal veri modelinden fiziksel veri modeline geçiş sürecini de aktarmışlardır. Harrington (2016), çalışmasında neden iyi bir tasarım yapılması gerektiğini örnekleri ile beraber açıklamıştır. Yanlış ortaya konulan veri modeli tasarımı ve sonucunda ortaya çıkan sistem, gereksiz yere verileri tekrarlayabilir ve veri girişi sırasında kullanıcıdan aynı verileri birkaç kez girmesini zorunlu kılabilir. Buda veri tabanının gereksiz yere büyümesine ve kullanıcının veri girişinde sorunlar getirebileceğine dikkat çekilmiştir. Bunun yanında veri girişinde ve herhangi bir sebepten dolayı veri silmek istediklerinde de yanlış tasarımdan dolayı veri kayıpları yaşanabileceğini aktarmışlardır. Ayrıca, yanlış tasarımın uzun vadede veri tutarsızlıkları ve verilerin doğruluğunda sorunlar olabileceğini aktarmışlardır. Date (2019), eserinde veri tabanı modelinin sistemin kalbi olduğunu ve dolayısı ile modellemeye ne kadar önem verilirse o kadar başarılı olunacağını açıklamıştır. Silberschatz, Korth, & Sudarshan (2020), bir veri tabanı şeması tasarlarken, iki önemli tuzaktan kaçınmalıyız. Bunlar, fazlalık, kötü bir tasarım bilgileri tekrar edebilir. Diğer ise eksiklik, kötü bir tasarım, işletmenin belirli yönlerinin modellenmesini zorlaştırabilir veya imkânsız hale getirebilir.

İş Analizi Bilgi Birikimi (2015) dokümanında (Business Analysis Body of Knowledge (BABoK)) veri modeli 3 ana gruba ayrılmıştır. Bunlar konsept veri modeli, mantıksal veri modeli ve fiziksel veri modeli şeklindedir. Veri modelinin güçlü yanlarını iş birimi ile uygulamayı geliştiren birim arasında iletişim sağlaması, mantıksal veri modelinin iş ihtiyaçlarını karşılayıp karşılanmadığı garantilemesi, veri yapısını görmek açısından tutarlı bir bilgi sunması, farklı grupların farklı ihtiyaçları için farklı seviyede bilgi sunabilmesi, gereksinimler arası uyumsuzlukları ve yeni gereksinimlerin görülebilmesi şeklinde sıralamıştır.

Moody & Shanks (2003), yazılım geliştirme safhalarındaki erken aşamada elde edilecek olan hataların düzeltilmesinin maliyetinin daha az olduğunu ve veri modelinin de bu açıdan erken aşamalarda incelenmesinin faydasını ve ayrıca süreç kalitesi ve ürün kalitesini açıklamışlardır. Veri modelinde ürün kalitesi, veri modelinin ürün olmasından dolayı incelenmesi ve kalitesinin artırılması ile ilgilendiğini, bunun yanında süreç kalitesinin ise veri analiz sürecini ve bu sürecin kalitesinin artırılması ile ilgili olduğunu ifade etmişlerdir. Bu açılardan bakıldığında ürün kalitesinin bireysel projelerde daha önemli olduğunu, bunun yanında kurumsal işletmelerde ise süreç kalitesinin daha önemli bir olgu olduğunu aktarmışlardır. Çalışmanın devamında veri modeli ile ilgili olarak hem ürün hem de süreç kalitesi ile ilgili araştırma ve sonuçlarını açıklamışlardır.

Batini, Ceri & Navathe, (1992), veri tabanı modelinin kalitesini arttırmak için kriterleri bütünlük, doğruluk, ifade edilebilirlik, okunabilirlik, minimalite, kendini açıklama, genişletilebilirlik ve normallik olarak belirtmiştir. Kesh (1995), varlık ilişki veri modellerini değerlendirmek için bir model geliştirmiştir. Modelde iki ana başlık oluşturmuştur. Başlıklardan ilki yapıdır. Yapı altında yer alan parametreler uygunluk, sağlamlık, tutarlılık, özlüktür. Yapı altında yer alan parametreler ise tamlık, yapışıklık ve geçerlilik şeklindedir. Modelin kalite skoru için ise her bir faktörün ağırlığı ile faktör puanının çarpılıp toplanmasından oluşmaktadır. Genero & Piattini (2002), çalışmasında farklı çalışmaların konsept modeldeki kalite karakteristiklerini incelemiştir. Dubielewicz, Hnatkowska, Huzar & Tuzinkiewicz (2007), çalışmalarında verimlilik ve bakım yapılabilirlik başlıkları altında kalite bakış açısını

değerlendirmişlerdir. Getta (2018), çalışmasında konsept olarak oluşturulmuş olan bir veri modelinin otomatik olarak değerlendirileceği hale dönüştürülmesi sonucunda otomatik kalite kontrol yapabilecek bir yapı geliştirmiştir.

O'Driscoll (2016), çevik tasarım veri modellemesi adlı bir model ortaya koymuştur ve modelin beş aşaması olduğunu aktarmıştır. Birinci aşamada problemin formülasyonu, ikinci aşamada mevcut uygulamanın modellemesi, üçüncü aşaması ileriye öngörme, dördüncü aşaması çözümün modellenmesi ve beşinci aşamasında ise değerlendirme yer almaktadır. Veri modelinin yapılmasını ve bunu yaparken de çevik geliştiriminin felsefesine uygun olarak yinelemeli bir şekilde geliştirileceğini ifade etmiştir. Beş aşamadaki değerlendirmenin de resmi olarak yapılması ve elde edilen bulguların düzeltilmesi gerektiğini aktarmıştır.

Fenerci (2001), veri tabanı yönetim sistemlerinin verimli kullanılabilmesi için içlerinde yer alan veri tabanı tablolarının iyi organize olmaları ve normalizasyon sürecinden geçirilmeleri gerektiğini vurgulamıştır. Bu çalışmada normalizasyonun amacını, veri tabanı bütünlüğünü arttırmak, tekrar ve tutarsızlığı en aza indirmek, istem dışı veri silinmesini önlemek ve istenen verinin temsil edilebilirliğini arttırmak olarak sıralamıştır. Laudon & Laudon (2018), eserlerinde mantıksal görünüm verileri, son kullanıcılar veya iş uzmanları tarafından algılanacaklar şeklinde sunar, oysa fiziksel görünüm verileri fiziksel depolama ortamında gerçekte nasıl düzenlendiği ve yapılandırıldığı göstermektedir şeklinde açıklamışlardır. İlişkisel veri modelini efektif bir şekilde kullanabilmek ve karmaşık veri gruplamasını engellemek, veri tekrarların ve garip çok çok ilişkilerin önüne geçmek için küçük, istikrarlı, esnek, karmaşık veri gruplarına uyarlayabilen bir yapılandırmayı normalizasyon olarak tanımlamışlardır. Uzun, Buluş & Erdoğan (2018), yazılım performansının en önemli faktörlerinden bir tanesinin de veri tabanı tasarımı olduğunu vurgulamışlardır. Tasarımda kullanılan normalizasyon bazı durumlarda performans sorunu yaratabileceği ve bunun içinde denormalizasyon yapılması gerektiği açıklanmış ve bununla ilgili bir uygulama yapmışlardır.

Dolayısı ile sistem geliştirme aşamasının en önemli ve kritik safhası olan sistem analizi ve tasarımı aşamasında veri modeli tasarımının da temelini sağlam atılması önemlidir. Bu çalışma kapsamında veri modelinin kalitesini ölçmek için bir değerlendirme sunulmuştur. Bu doğrultuda öncelikle veri modelleme ile ilgili bilgiler aktarıldıktan sonra bu kapsamda veri modeli puan kartı ile hizmet işletmesindeki sorun bildirim ve araç yönetim sistemlerine ait veri modelleri incelenmiş ve sonuçlarına yer verilmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

Veri tabanı modellerine geçmişten günümüze doğru baktığımızda hiyerarşik, ağ, ilişkisel ve nesneye yönelik şekilde ayırmak mümkün olabilmektedir. Hiyerarşik veri tabanları en eski veri tabanları olup 1960 ve 1970'li yıllarda kullanılmıştır. Ardından ağ veri tabanları ortaya çıkmış ve 1970 ile 1980 arasında kullanılmıştır. İlişkisel veri tabanı ise 1980'li yıllardan itibaren çok yoğun bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır ve hala da günümüzde de yoğun bir şekilde kullanımı olan veri tabanlarıdır. Nesneye yönelik veri tabanları ise 2000'li yıllarda ortaya çıkmıştır. İlişkisel veri tabanı sorgulama dili olan Yapısal Sorgulama Dili (Structured Query Language – SQL) 1970'li yıllarda Don Chamberlin ve Raymond Boyce tarafından SEQUEL ve IBM'in System R. Projesi ile ortaya çıkmıştır. 1982 yılında

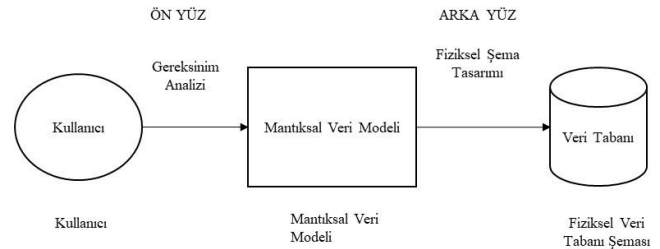
Amerikan Ulusal Standart Enstitüsü (ANSI) bu dili standartlaştırma çalışmalarına başlamış ve 1986 yılında standardı yayınlamıştır. Ardından 1989 yılında ISO ve ANSI ortak bir standart yayınlamıştır. Ardından farklı yıllarda farklı içerikler eklenerek standart geliştirilmiştir.

İlişkisel veri tabanlarının temeli olan Varlık (Tablo) (Entity) İlişki (Relationship) modeli (E-R) 1976 yılında Chen tarafından ortaya konulmuştur. Bu yöntem kullanılacak olan ilişkisel veri tabanı yönetim sisteminden bağımsız bir şekilde veri modellemelerinin yapılabildiği bir yöntemdir.

Halpin & Morgan (2008), ER Modelleme ve Birleşik Modelleme Dili (Unified Modeling Language- UML) modelleme ile ilgili olarak uygulamada, ER modellemenin hâlâ veri tabanlarının tasarımında popüler olduğu, üst düzey bir yaklaşım olduğunu ve birçok sürümü olduğunu açıklamışlardır. UML sınıf diyagramının da açık farkla en etkili nesne yönelimli yaklaşım olduğunu aktarmışlardır. ER modelleme genel olarak ilişkisel veri tabanı modellemelerinde, UML sınıf diyagramı ise genel olarak nesneye yönelik tasarımlarda kullanılmaktadır. ER modellemenin farklı gösterim notasyonları vardır. Bunlardan en popüler olanlarının Barker, Bilgi Mühendisliği ile IDEF1X olduğunu aktarmışlardır.

Chen (1976), varlık-ilişki modeli olarak adlandırılan bir veri modeli önermiştir. Bu model, gerçek dünya hakkında önemli semantik bilgiler sunmaktadır. Veri tabanı tasarımı için özel bir diyagramatik teknik önermiştir. Bu teknik ile verinin dört farklı düzeyinin belirlenebileceğini açıklamıştır. Bunlar; 1) Aklımızda bulunan varlıklar ve ilişkilere ilişkin bilgiler, 2) Bilgi yapısı-varlık ve ilişkileri- bilginin organizasyonu şeklinde, 3) Erişim yolundan bağımsız veri yapısı- şemalar, indeksler burada yoktur 4) Erişim yoluna bağlı veri yapısı şeklinde açıklamıştır.

Şekil 1. Veri Tabanı Tasarım Süreci

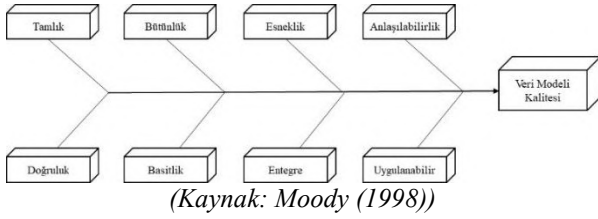


(Kaynak: Moody (1996))

Moody (1994), veri modeli değerlendirme çerçevesi kapsamında dört ana yapı üzerinde durmuştur. Bunlar; Kalite: veri modelinde istenen özelliklerin olması, Metrikler: Kaliteyi ölçmenin yolu. Birden fazla olabilir. Ağırlıklar: Belirli problem ortamında farklı niteliklerin göreceli önemi, Stratejiler: Veri modelinin kalitesini arttırmak için metotlardır şeklinde açıklamıştır. Ayrıca değerlendirme sürecini veri modelinin değerini kalite unsurları ile arttırmak olduğunu açıklamıştır. Bu çalışma kapsamında kalite ile ilgili unsurları altı ana başlık altında toplamıştır. Bunlar; basitlik, tamlık, esneklik, entegre, anlaşılabilir ve uygulanabilir şeklindedir. Ayrıca, şekil1. De görüleceği üzere Moody (1996) veri tabanı tasarım sürecini mantıksal veri modelinin oluşturulması ve ardından fiziksel veri tabanı şemasının oluşturulması şeklinde sıralamıştır.



Şekil 2. Veri Modeli Kalitesi



Moody (1998), kalite faktörlerini şekil 2’de yer aldığı hali ile sekiz başlık altında ele almıştır. Bunlar; Tamlik, bütünlük, esneklik, anlaşılabilirlik, doğruluk, basitlik, entegre ve uygulanabilir şeklindedir.

Hoberman (2015), veri modelini puan kartı ile 10 farklı kategoride puanlanarak değerlendirilebileceğini açıklamıştır. Bunlar;

1. Doğruluk: Model, gereksinimleri ne kadar iyi yakalamaktadır? Modelin gereksinimleri karşılayıp karşılamadığı değerlendirilmektedir.
2. Tamlik: Model, ne kadar eksiksiz? Modelin gereksinimleri karşılaması ve meta verisinin tam olması olarak değerlendirilmektedir. İleride ilave edilecek olan gereksinimler modelin o anki versiyonunda olmamalıdır.
3. Şema: Model, şemasına ne kadar iyi uyuyor? Model konsept, mantıksal veya fiziksel mi ve ona göre şema yapısı uygun mudur olarak değerlendirilmektedir. İlişkisel ise modelde ilişkiler tanımlanmış mıdır bakılmaktadır.
4. Yapı: Model, yapısal olarak ne kadar doğru? Veri modelindeki yapısal hataların belirlenmesidir.
5. Soyutluk: Model, genel yapıya ne kadar uyumludur? Modelde yer alan bazı durumların soyutluk durumlarını karşılayabilmesidir.
6. Standart: Model, adlandırma standartlarına ne kadar uymaktadır? Yapısı, isimlendirmeler ve stil belirtilen standartlara uyumunu açısından değerlendirilmektedir.
7. Okunabilirlik: Model, ne kadar iyi okunabilir? Modelin okunabilir bir şekilde oluşturulup oluşturulmadığı ele alınmaktadır.
8. Tanımlar: Modelde tanımlar ne kadar iyi? Tanımlar açık, tam ve doğru bir şekilde ifade edilmiş mi şeklinde incelenmektedir.
9. Tutarlılık: Model, genel kurumsal veri modeli ile ne kadar uyumludur? Organizasyondaki kurumsal veri modeli ile uyumlu bir yapıda mı şeklinde incelenmektedir.
10. Veri: Modeldeki veriler meta veriler ile ne kadar uyumaktadır? Modelde geçen meta veriler içindeki verilerin gerçekten aynı kapsamda eşleşip eşleşmediği irdelenmektedir.

Modeldeki her bir kategorinin toplamı 100 olacak şekilde hedef skor belirlenmektedir. Ardından incelenen modellerin gerçek değerleri belirlenmekte ve ardından da karşılaştırılıp, eksik husus olması durumunda ilgili kriterde düzeltici ve önleyici adımlar belirlenmektedir. Her bir kategori incelenirken kategorisel beklentiler listelenmek ve bu beklentilerle incelenen model ne kadar uyumlu değerlendirmesi yapılmaktadır. Modelde yer alan her bir varlığın aslında kim, ne, ne zaman, nerede, Neden, nasıl kategorilerinden birinin kapsamında yer alacağını ifade etmiştir. Bunun yanında veri modeli puan kartı ile sadece iyileştirme alanları değil bunun yanında incelenen model hakkında güçlü yanlarda açıklanmaktadır. Ayrıca model sayesinde dışarıdan bir bakış açısı sağlanmakta ve birçok metrik ile model değerlendirildiği için subjektif yerine objektif olarak sonuç

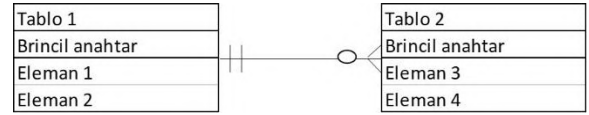
üretilmektedir. Ayrıca veri modeli puan kartı kolaylıkla kullanılabilir bir yapıdadır. Konsept, mantıksal ve fiziksel veri modellerine ve hatta ilişkisel, boyutsal ve NoSQL modellere de uygulanabilmektedir.

Redman (2001), veri kalitesini 3 boyutta ele almıştır. Bunlar veri modeli, veri değeri ve temsildir. Veri Modeli ile ilgili olarak ise aşağıdaki kalite hususlarına değinmiştir.

1. İçerik: Verinin önemi, değerleri elde etme yeteneği, tanımların açıklığı.
2. Ayrıntı Seviyesi: Tablo alanlarının ayrıntı düzeyi, tablo alanlarının hassasiyeti.
3. Kompozisyon: Doğallık, tanımlama kabiliyeti, homojen, minimum gerekli yedeklilik.
4. Tutarlılık: Model bileşenlerinin anlamsal tutarlılığı, tablo alanlarının varlıklar içindeki özneliklerinin yapı tutarlılığı.
5. Değişime tepki: Sağlamlık, esneklik.

Veri modeli bileşenleri ana hatları ile şekil 3’de yer almaktadır. Bunun yanında her bir bileşenin açıklamalarına aşağıda yer verilmiştir.

Şekil 3. Örnek ER diyagramı veri modeli-Crow’s Foot Notasyonu ile iki tablo arası ilişki



Varlık (Tablo): Veri modelinde varlık, işletmenin veri topladığı bir nesnedir. Varlık isimleri açık, doğru ve tam olmalıdır.

İlişki: Tablolar arasındaki bağlantıyı göstermektedir. İlişkilerin niceliklerinde önemlidir. Buna göre iki tablo arasında sıfır, bir ve çok şeklinde nicelikler vardır. Bazende ilişki tipi tablonun kendi içinde de olabilmektedir. Genelde ilişkiler iki tablo arasında olmaktadır. Ancak bazen de üç tablo arasında da olabilmektedir. Yabancı anahtar ilişkide, ilişkinin gittiği yönde asıl anahtarın gidilen tabloda da yer almasıdır.

Nitelik (Eleman, Kolon): Bir tabloyu tanımlayan özelliktir. Asıl (birincil) anahtar bir tabloda ilgili satırı tekil olarak tanımlayan bir veya birden fazla niteliklerdir.

Veri tipi: Tablo içinde yer alan herhangi bir elemanın tipini belirtmektedir.

Normalizasyon: Normalleştirilmenin temel amacı, fazlalığı ve fazlalıktan kaynaklanabilecek tutarsızlıkları ortadan kaldırmak için her bir özelliği tek bir yerde tutmaktır. İşlem, her bir özelliğin ve her özelliğin birincil anahtarıyla ilişkisinin derinlemesine anlaşılmasını gerektirir. Normalizasyon seviyeleri olarak; birinci normal form, ikinci normal form, üçüncü normal form, boyce/codd normal form, dördüncü normal form ve beşinci normal form şeklinde ayrılmaktadır. Bazı durumlarda, belirli bir seviyede normalizasyonu veri modelinin performansı açısından bırakmak veya normalize bir yapıyı normalize olmayan bir duruma döndürmek gerekebilir.

Veri Yönetimi Bilgi Grubu (Dama-Dmbok-Data Management Body Of Knowledge) adlı referans dokümanda veri modeli tasarımında daima akılda bulunması gereken hususlar sıralanmıştır. Bunlar; performans ve kolay kullanım, tekrar kullanılabilirlik, bütünlük, güvenlik, bakım yapılabilirliktir. Bunun yanında veri modelleme sürecindeki aktiviteler, konsept veri modelinin çıkarılması, mantıksal veri modelinin çıkarılması,

fiziksel veri modelinin çıkarılması, veri modelinin gözden geçirilmesi, veri modelinin yönetilmesi şeklinde sıralanmıştır.

Bu çalışma kapsamında Steve Hoberman'ın veri modeli puan kartı baz alınmış ve bu kapsamda 1994 yılından itibaren ısıtma ve soğutma sistemleri projelendirme, satış, kurulum ve bakım hizmeti sunan işletme için geliştirilmiş olan sorun bildirim ve araç yönetim sistemlerine ait iki adet veri modeli incelenmiştir. İzlenen yöntem adımları aşağıda sıralanmıştır.

**1. Veri modelleri, gerekli dokümantasyon ve bilgilendirme:** İncelenecek olan veri modelleri ve bunlar ile ilgili olarak gerekli tüm dokümantasyon ilgili kişilerden elde edilmiştir. Bu kapsamda öncelikle veri modelini çıkaran uzman kişilerden hem model hem de ilgili projeler hakkında detaylıca bilgi alınmıştır. İncelenen veri modelleri mantıksal veri modelleridir. Modeller, hazır bir yazılım kullanılarak varlık-ilişki diyagramları çizilmiştir. Buda modellerin incelenmesi açısından çok büyük fayda sağlamıştır. Her iki modelde yer alan yapı, işletme içinde var olan hazır kurumsal kaynak planlama (Enterprise Resource Planning-ERP) yazılımına ilave olarak geliştirilen yazılımlardır. Bunlardan ilki web tabanlı sorun bildirim sistemidir. Bu sistem işletmenin satmış olduğu ürünlerde oluşan sorunları toplamak ve bunları bir yerden yönetebilmek için geliştirilmiştir. Diğer sistem ise işletme içinde servis hizmeti için kullanılan işletmeye ait araçların bilgilerinin, bakımlarının ve görev planlarının takip edildiği bir yazılımdır. Her iki yazılım içinde aynı firmadan farklı kişiler çalışmaktadır. Dolayısı ile incelenen veri modellerinin farklı uzmanların veri modellerini nasıl modelledikleri hakkında da bilgi sunması beklenmektedir.

**2. Veri modelleri, ilgili doküman ve sistem tasarımının incelenmesi:** Bu aşamada bir önceki aşamadan elde edilen bilgiler kapsamında verilen dokümanlar, sistem tasarımı, gereksinimler, raporlar, veri standartları, yazılım geliştirme yaşam döngüsü kapsamındaki şablon ve standartlar, firmadaki daha önce geliştirilen ve kullanılan ERP yazılımının içeriği gibi veri modellerinin oluşturulması esnasında kullanılan dokümanlar veya uyulan standart ve şablonlar incelenmiştir.

**3. Veri modellerinin değerlendirilmesi ve puanlanması:** Bu aşamada, her bir kategoride yer alan başlık ile ilgili olarak incelenmesi ve bakılması gereken tüm kısımlar değerlendirilmiştir. Bu kapsamda yapılan farklı çalışmalarındaki kategoriler de incelenmiş ve veri modeli puan kartındaki kategorilere ilave edilmesi gereken kategoriler ilave edilmiştir. İlk aşamada genişleyebilirlik, normalize olma, anlaşılabilirlik, bakım yapılabilirlik, performans, basitlik, esneklik ve uygulanabilirlik kategorileri ilave edilebilir şekilde değerlendirilmiştir. Ancak detaylı çalışma sonrasında bunlardan sadece esneklik ve uygulanabilirlik kategorileri veri modeli puan kartına kategori olarak eklenmesine karar verilmiştir. Diğer ilave edilmesi düşünülen kategoriler ise diğer başlıklar altında ele alındığı düşünülerek ayrıca ilave edilmemiştir. Esneklik ve uygulanabilirlik ile ilgili diğer kategorilerin altındaki olabilecek alt kriterler ilgili yerlerden çıkarılmış ve bu iki başlık altına toplanmıştır.

Ayrıca, temel veri modeli puan kartındaki her bir kategoriye düşen puanlara bakılmış ve bu kapsamda doğruluk, tamlik ve yapı kategorilerinin kritik öneminden dolayı herhangi bir değişim yapılmamıştır. Ancak, soyutluk, tanımlar ve veri kategorilerinin puanları yarı yarıya azaltılarak buradan elde edilen puanlar ilave edilen uygulanabilirlik daha yüksek olmak üzere esneklik ve uygulanabilirlik yeni kategorilerine verilmiştir.

Bu değerlendirme esnasında her bir kategori altında yer alan kontrol listesindeki kısımlar teker teker kontrol edilmiştir. Buna göre;

- Doğruluk altında 10 adet,
- Tamlik altında 5 adet,
- Şema altında inceleme kapsamında yer alan modellerimiz mantıksal veri modeli olmasından dolayı sadece mantıksal kontrol listesindeki 7 adet genel ve 8 adet ilişkisel kontroller,
- Yapı kapsamında 3 ana başlık altında toplam 17 kontrol,
- Soyutluk kapsamında 2 ana başlık altında toplam 6 kontrol,
- Standart kapsamında 3 ana başlık altında toplam 19 kontrol,
- Okunabilirlik kapsamında 4 ana başlık altında toplam 14 kontrol,
- Tanımlar kapsamında 3 ana başlık altında toplam 10 kontrol,
- Tutarlılık kapsamında 5 kontrol,
- Veri kapsamında 7 kontrol,
- Veri modeli puan kartına ilave ettiğimiz esneklik kapsamında 3 kontrol,
- Uygulanabilirlik kapsamında ise 5 kontrol

maddesi incelenerek değerlendirmeler yapılmıştır.

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Değerlendirme ile ilgili tüm puanlama ve açıklamalar Tablo 1'de yer almaktadır. Değerlendirme bir veri tabanı uzmanı, iki iş analisti, bir yazılımcı, bir test uzmanı, bir alan uzmanı şeklinde uzmanlık alanları olan altı kişi ile beraber çalışmalar sürdürülmüştür. Bu kapsamda hem gereksinimler hem de veri modelinin detayları konusunda bilgiler elde edilmiştir. Veri tabanı uzmanından ise işletmedeki veri tabanı yapısı ve veri tabanı ile ilgili bilgiler elde edilmiştir. Bunların yanında her bir kategoride puanlama yapılırken ilgili uzmanlar ile mutabık kalınarak sonuç puanına varılmıştır. Her bir uzman, veri modellerinin değerlendirilmesi ve puanlanması başlığı altında yer alan her bir kategorinin tüm kontrol maddelerini teker teker incelemiştir. Veri modellerini, bu kontrol maddeleri açısından değerlendirerek her bir kontrol maddesi için puan vermişler ve bu puanlar toplanarak o kategori ve ilgili uzman açısından bir puan hesaplanmıştır. Daha sonraki aşamada ise her bir uzmanın verdiği puanlar toplanıp ortalaması alınmıştır. Ortaya çıkan puan tekrar uzmanlar tarafından değerlendirilmiş ve çıkan sonuç yorumlanmıştır.

Tablo 1. Veri Modelleri Puan Kartı

No	Kategori	Toplam Puan	1. Model Puan (Yüzde)	2. Model Puan (Yüzde)
1	Doğruluk: Model, gereksinimleri ne kadar iyi yakalamaktadır?	15	12 (80.0)	10 (66.7)
<b>1. Model Açıklama</b>		Modelde bazı gereksinimlerin ele alınmadığı gözlemlenmiştir. Bunlar, özellikle sorun bildirim esnasında sorunu tanımlarken müşterinin bildirdiği ve sorunun sınıflandırmasına hizmet edecek olan verilerin tutulduğu kısım ile ilgilidir. Bu kısım ilerleyen aşamada işletme için sorunların sınıflandırılması açısından önemlidir ve tasarımı yapan tarafından atlanmıştır. Hatta bu kısım sistem		

		tasarımında ekran prototiplerine de yansıtılmamıştır.		
<b>2. Model Açıklama</b>		Modelde mevcut durumu (as-is) yansıtan yapı yoktur. Oysaki müşteri raporlarında gelecekte (to-be) araçlar ile ilgili olarak planlama kapsamında rota optimizasyonu ile ilgili bilgilerinde olması istenmekte ancak bu konu ile ilgili modelde ne bir tablo ne de bir eleman yer almaktadır. Dolayısı ile modeldeki bu büyük eksiklikten dolayı 5 puanlık bir kesinti yapılmıştır.		
<b>No</b>	<b>Kategori</b>	<b>Toplam Puan</b>	<b>1. Model Puan (Yüzde)</b>	<b>2. Model Puan (Yüzde)</b>
2	Tamlık: Model, ne kadar eksiksiz?	15	13 (86.7)	9 (60.0)
<b>1. Model Açıklama</b>		Modelde, tanımlamalar kısmında ve her bir eleman bazında bazı eksikliklere rastlanmıştır. Özellikle boş (null) veya boş değil (not null) gibi tanımlamalar her bir tablo alanı için tam olarak yapılmamıştır. Bundan dolayı ilerleyen zamanda sorunlar çıkabilecektir.		
<b>2. Model Açıklama</b>		Tablolar içerisinde yer alan her bir alan bazında alan özellikleri tam olarak tanımlanmamıştır. Bazı tablolarda, sadece tabloların adlarının adları yazılmıştır. Buda hem programlama hem de fiziksel modele geçişte büyük sorunlar yaşatabilecektir. Bunlar belli olmadan ilerlenmesi zaman kaybına neden olabilecektir.		
<b>No</b>	<b>Kategori</b>	<b>Toplam Puan</b>	<b>1. Model Puan (Yüzde)</b>	<b>2. Model Puan (Yüzde)</b>
3	Şema: Model, şemasına ne kadar iyi uyuyor?	10	7 (70.0)	5 (50.0)
<b>1. Model Açıklama</b>		Bu kategorideki gereksinimlerden bir tanesi ilişkilerin doğru bir şekilde kurulmasıdır. Veri modeli incelendiğinde bazı çok çok (many to many) ilişkilerin herhangi bir normalizasyona gidilmeden doğru olmayan bir şekilde bire çok şeklinde ele alındığı görülmüştür. Gereksinimlerde bazı alanlardan sorgulamalar yapılacağına rağmen bu alanlar bölünmeden tek bir alan şeklinde model de yer almıştır. Müşteri ve müşterideki cihazlar tek bir tabloda tutulmak istenmiştir. Bununla ilgili bilgiler değerlendirildikten sonra bunun farklı iki tabloya bölünmesi ve ona göre ilişkilerin kurulması gerektiği ifade edilmiştir.		
<b>2. Model Açıklama</b>		Bu kategorinin gereksinimi olan her bir tablodaki anahtar olabilecek alanların belirlenmesi ve bunun ardından da bu alanların not null olarak tanımlanması gerekmektedir. Bu konuda modelde bazı tablolarda bu alanların belirlenmemiş olduğu görülmüştür. Bu kategorinin diğer bir gereksinimi ise çok çok (many to many) ilişkilerin normalize edilmesidir. Bu konuda da yetersizliklerin olduğu ve bazı ilişkilerin çok çok şekilde bırakıldığı görülmüştür. Bir tabloda birincil anahtar yanlış belirlenmiştir. Bu modelde araç tipi ve yük kapasitesi ile ilgili tablolardaki ayrıştırma sorunu çözümlenmemiştir.		
<b>No</b>	<b>Kategori</b>	<b>Toplam Puan</b>	<b>1. Model Puan (Yüzde)</b>	<b>2. Model Puan (Yüzde)</b>
4	Yapı: Model, yapısal olarak ne kadar doğru?	15	11 (73.3)	10 (66.7)

<b>1. Model Açıklama</b>		Özellikle modelde yer alan sorunun hangi cihazda olduğunu tanımlamak için gerekli olan cihaza ait bazı bilgiler hatalı bir şekilde farklı tabloların içerisinde belirtilmiştir. Bununla ilgili değerlendirmeler sonucunda aslında bu bilgilerin normalde cihaz ile ilgili tablolarda olması gerekirken sorun tablosuna konulması düzeltilmiştir. Sorunun bildirildiği tarih, zaman (time stamp) şeklinde olması gerekirken yanlışlıkla karakter olarak tanımlanmıştır. Aslında çok bariz bir sorun ancak bunun dikkatsizlikten kaynaklandığı görülmüştür.		
<b>2. Model Açıklama</b>		Özellikle yabancı anahtar tanımlamalarında ve araç ile görev tablolarının ilişkilerinde sorun yaşandığı görülmüştür. Görev tablosu ile araç tablosu arasında çok ilişki olmasına rağmen bunun yapısal olarak gösteriminde ve bire çok bölünmesinde yanlışlık yapıldığı belirlenmiştir. Personel ve görev tablosu çok ilişkiyle dolaylı araya çok ilişki olarak bire çok hale getirilmiş ancak aralarındaki zorunlu bire çok ilişkiyle dolaylı yabancı anahtar aktarımları tam olarak yapılmadığı görülmüştür. Araç tipi şeklinde bir alt tipte tablo yer almış ancak bu tablonun anahtarı sadece araç tablosundan gelen olacak olmasına rağmen ilave alan konmuş. Bunun düzenlenmesi istenmiştir.		
<b>No</b>	<b>Kategori</b>	<b>Toplam Puan</b>	<b>1. Model Puan (Yüzde)</b>	<b>2. Model Puan (Yüzde)</b>
5	Soyutluk: Model, genel yapıya ne kadar uyumludur?	5	5 (100.0)	5 (100.0)
<b>1. Model Açıklama</b>		Herhangi bir soruna rastlanmamıştır.		
<b>2. Model Açıklama</b>		Herhangi bir soruna rastlanmamıştır.		
<b>No</b>	<b>Kategori</b>	<b>Toplam Puan</b>	<b>1. Model Puan (Yüzde)</b>	<b>2. Model Puan (Yüzde)</b>
6	Standart: Model, adlandırma standartlarına ne kadar uymaktadır?	5	4 (80.0)	4 (80.0)
<b>1. Model Açıklama</b>		Modelde yer alan tablo ve alan isimlerinin bazıları çoğul şekilde kullanılmıştır. Etkiler tablosu bu şekilde yer almıştır. Ayrıca cihaz bilgilerinin yer aldığı cihaz tablosundaki ağırlık alanı ağırlıklar şeklinde yazılmıştır. Cihaz tablosundaki no alanı cihaz no ve personel tablosundaki no alanı da personel no şeklinde olması gerekmektedir. İlişkileri gösterirken bazı ilişkilerin isimlendirilmesi atlanmıştır.		
<b>2. Model Açıklama</b>		Bu tablodaki özellikle görev yeri alanı görev yerleri şeklinde yer almıştır. Bununla ilgili gerekli düzenleme yapılması istenmiştir. Görev tablosundaki tarih alanı sadece tarih şeklinde tutulmuştur. Bunun görev tarihi şeklinde olması gerekmektedir.		
<b>No</b>	<b>Kategori</b>	<b>Toplam Puan</b>	<b>1. Model Puan (Yüzde)</b>	<b>2. Model Puan (Yüzde)</b>
7	Okunabilirlik: Model, ne kadar iyi okunabilir?	5	5 (100.0)	4 (80.0)
<b>1. Model Açıklama</b>		Modelin okunabilirliği ile ilgili bir soruna rastlanmamıştır. Ancak, sorun tablosu altında yer alan ve müşterinin bildirdiği sorunların farklı bilgileri belirli bir mantık sıralamasında dizilmemiştir. Kağıt formun belirli bir doldurma mantığı vardır. Alanlarda eksiklik yoktur ancak sadece sıralama mantığında sorun olması puan eksiltmek için neden olmuştur.		

<b>2. Model Açıklama</b>		Modelin çizilen programa yerleşimi tam okunaklı şekilde oluşturulmamıştır. Özellikle modelin merkezi noktası olan araç ve görev tablolarının yerleşimi modelin okunmasında sorunlar yaşatmaktadır.		
<b>No</b>	<b>Kategori</b>	<b>Toplam Puan</b>	<b>1. Model Puan (Yüzde)</b>	<b>2. Model Puan (Yüzde)</b>
8	Tanımlar: Modelde tanımlar ne kadar iyi?	5	4 (80.0)	2 (40.0)
<b>1. Model Açıklama</b>		Kısaltmaların ne anlama geldiği ile ilgili olarak bir açıklama yer almamıştır. Özellikle cihazların bilgilerinin tutulduğu tabloda bazı kısaltmalar kullanıldığı ve tanımlamalarının eksik olduğu görülmüştür.		
<b>2. Model Açıklama</b>		Çoğu tanım yapılmamıştır.		
<b>No</b>	<b>Kategori</b>	<b>Toplam Puan</b>	<b>1. Model Puan (Yüzde)</b>	<b>2. Model Puan (Yüzde)</b>
9	Tutarlılık: Model, genel kurumsal veri modeli ile ne kadar uyumludur?	5	5 (100.0)	5 (100.0)
<b>1. Model Açıklama</b>		İşletme içinde yer alan diğer uygulamalar ile herhangi bir şekilde bir uyum aranmamıştır. Çünkü hazır bir kurumsal kaynak planlama yazılımı kullanılmaktadır. Bu sistem ile tam anlamı ile entegre bir yapı planlanmadığı için bu uyuma bakılmamıştır. Ancak yeni geliştirilen bu iki sistemin birbiri ile uyumu değerlendirilmiştir. Herhangi bir sorun görülmemiştir.		
<b>2. Model Açıklama</b>		İşletme içinde yer alan diğer uygulamalar ile herhangi bir şekilde bir uyum aranmamıştır. Çünkü hazır bir kurumsal kaynak planlama yazılımı kullanılmaktadır. Bu sistem ile tam anlamı ile entegre bir yapı planlanmadığı için bu uyuma bakılmamıştır. Ancak yeni geliştirilen bu iki sistemin birbiri ile uyumu değerlendirilmiştir. Herhangi bir sorun görülmemiştir.		
<b>No</b>	<b>Kategori</b>	<b>Toplam Puan</b>	<b>1. Model Puan (Yüzde)</b>	<b>2. Model Puan (Yüzde)</b>
10	Veri: Modeldeki veriler meta veriler ile ne kadar uyumaktadır?	5	4 (80.0)	3 (60.0)
<b>1. Model Açıklama</b>		Modelin gerçek ortama verildiği aşamada tutulacak olan veri büyüklüğü, tablolardaki alanların veri büyüklükleri ile tutarlı olarak tanımlanmamış alanlar yer almaktadır. Özellikle sorun tipi alanlarının uzunlukları net olarak sorun yaşatacak tiptedir.		
<b>2. Model Açıklama</b>		Bu modelde en büyük sorun görev tablosundaki görev no ile ilgilidir. Bu alan sistemin kağıt ortamında kullanım durumuna bakıldığında 5 yıl içinde dolacağı kapasite kadar düşünülmüştür. Ancak sistemin daha uzun süre kullanımı durumunda bu konuda sorun yaşanması kaçınılmazdır.		
<b>No</b>	<b>Kategori</b>	<b>Toplam Puan</b>	<b>1. Model Puan (Yüzde)</b>	<b>2. Model Puan (Yüzde)</b>
11	Esneklik: Model, ilave, silme veya değişime ne kadar uygundur?	5	5 (100.0)	4 (80.0)
<b>1. Model Açıklama</b>		Herhangi bir soruna rastlanmamıştır.		
<b>2. Model Açıklama</b>		Modelin bir kısmı çıkarılması durumunda model buna cevap vermeyecek şekilde ortaya konulmuştur. Araç vergi bilgileri yazılımda olmaması durumunda bunların hesaplandığı ve sonuçlarının tutulduğu kısma gerek olmaması durumunda bunu modelden çıkarmak istenmesi durumunda bazı değişikliklerin yapılmasında zorlanılmıştır.		

<b>No</b>	<b>Kategori</b>	<b>Toplam Puan</b>	<b>1. Model Puan (Yüzde)</b>	<b>2. Model Puan (Yüzde)</b>
12	Uygulanabilirlik: Model, bu hali ile ne kadar uygulanabilir?	10	8 (80.0)	7 (70.0)
<b>1. Model Açıklama</b>		Modelin genel olarak direkt fiziksel modele döndürülmesi istenmesi durumunda zaman açısından ekstra çalışmasını gerektirmektedir.		
<b>2. Model Açıklama</b>		Modelin genel olarak direkt fiziksel modele döndürülmesi istenmesi durumunda zaman açısından ekstra çalışmasını gerektirmektedir. Diğer modele göre bu modelin genel yapısı daha sorunlu olduğu için harcanacak olan zaman daha fazladır.		
<b>TOPLAM PUAN</b>		<b>100</b>	<b>83 (83.0)</b>	<b>68 (68.0)</b>

**Veri modellerinin olgunluk seviyelerinin değerlendirilmesi:** Çalışma sonucunda incelenen veri modelleri ile ilgili olarak her bir kategori kapsamında yapılan yanlışlıkların ne olduğu ile ilgili bilgiler sunulmuştur. Bunun yanında veri modeli için altıtlı bir skala üzerinden veri modelinin aldığı puan değerlendirilmiştir. Veri modeli olgunluk seviyesi tablo 2'de yer almaktadır.

Tablo 2. Veri Modeli Puan Kartı Olgunluk Seviyeleri

Puan Değer Aralığı	Değer Açıklama
01-25	Çok Kötü Model
26-40	Kötü Model
41-55	Orta Model
56-70	Orta Üstü Model
71-85	İyi Model
85-100	Çok İyi Model

Buna göre birinci model 83 puan ile iyi model, ikinci model ise 68 puan ile orta üstü model kategorisinde yer almıştır. Bu sonuçlara bakıldığı zaman model 1'de bazı ana sorunlar dışında çok büyük bir sorun olmadığı ancak, model 2 de model 1'e göre daha çok düzenleme yapılması gerekmektedir. Bu çalışma göstermiştir ki veri modelinin tamamlanmasının ardından muhakkak bir uzman veya ekip üyelerinden başka uzmanlar tarafından incelenmesinde fayda vardır.

**Veri modeli kriterleri:** Bu çalışma ve genel olarak görülmüştür ki veri modellemesi yaparken dikkat edilmesi gereken başlıca faktörler aşağıda yer almaktadır.

- Veri modeli yaparken kontrol ve değerlendirme çok önemlidir. Erken aşamalarda görülen yanlışlıkların düzeltilmesi her zaman büyük fayda sağlayacaktır.
- Modellemeden önce gereksinimlerin çok iyi algılanması ve gerekmesi durumunda gereksinimleri karşılayacak olan prototiplerin çıkarılarak doğru veri modeline geçilmesi önem arz etmektedir.
- Veri modelinde de sırası ile konsept, mantıksal ve fiziksel sıralamanın izlenmesinde büyük fayda vardır. Mantıksal veya fiziksel veri modelindeki amaçların farklı olmasından dolayı odak noktası belirlenmeli ve hangi model yapılıyorsa modelin ortaya koyduğu kurallar net bir şekilde uygulanmalıdır.
- Hangi model yapılıyorsa yapılsın öncelikle tabloların belirlenmesi, ardından tablolar arası ilişkiler ve ona göre de tabloların içlerinde yer alacak olan alanların belirlenmesi izlenecek en iyi yoldur.
- Modellemeyi yaparken bu çalışma kapsamında yer alan kalite hususlarına özellikle dikkat edilmesi elde edeceğimiz yazılımın daha kaliteli olmasını sağlayacaktır.

- Tablo oluştururken ve bunun yanında tablolar arası ilişkileri ayarlarken özellikle normalizasyon kurallarına azami dikkat edilmesinde fayda vardır. Normalizasyonda üçüncü normal form veya boyce-codd normal form seviyesinin veri tabanı performansı açısından iyi ve yeterli olacaktır.

Harrington (2016)'un çalışmasında belirttiği gibi yanlış kurgulanan bir veri modelinin işleme alınması sonrasında sistemde gereksiz yere verinin tekrarlanması, verinin birkaç kez girilmesi, veri tabanının gereksiz yere büyümesi ve veri tutarsızlıkları gibi sorunlar olabilmektedir. Ayrıca, Silberschatz, Korth & Sudarshan (2020) veri tabanı şemasında eksik ve/veya fazla alanların olmasının işletme fonksiyonları için iyi bir model olmayacağını açıklamışlardır. Sonuçta görülmüştür ki veri modelindeki bu şekildeki sorunların önüne geçilmesi için Moody (1998) belirttiği gibi kalite kriterlerinin belirlenmesi ve bu çalışmada olduğu gibi Hoberman'ın (2015) önerdiği şekilde ortaya konulacak kalite kriterlerinin puan kartı ile puanlanarak değerlendirilmesi ve eksikliklerin giderilerek daha kaliteli bir veri modeli ve sonucunda da sistemin oluşturulması gerekmektedir.

#### 4. Sonuç

İnceleme sonrasında görülmektedir ki veri modelleme konusunda birtakım eksiklikler mevcuttur. Bununla başa çıkmanın en iyi yollarından bir tanesi de bilgisi eksik olan kişilere eğitim aldirmek şeklinde olabilir. Bu durum işletme içinden veya profesyonel bir kurumdan bu konuda uzman bir eğitmenen veri modelleme ile ilgili eğitim alınması şeklinde olabilir. Bunun yanında bu konuda karşılıklı olarak çapraz bir şekilde her veri modelinin takım üyeleri arasında bir şekilde kontrol edilmesi olabilir. Bu değerlendirmeyi ilk aşamada deneyimli ve bilgili takım üyeleri tarafından yapılması, ardından da deneyimsiz takım üyelerinin de yetişmesi açısından deneyimli ve deneyimsiz eşleştirmesi yaparak incelemelerin sürdürülmesidir. Bu sayede bilgi birikimi deneyimsiz kişilere aktarılmış, hem de daha kaliteli veri modelleri elde edilmiş olacaktır.

Genel olarak veri modeli oluşturulması esnasında tabloların ve alanlarının net bir şekilde tüm gereksinimleri karşılaması gerekmektedir. Bunun yanında tablolar arası ilişkilerin doğru bir şekilde kurulması da büyük önem arz etmektedir. Ayrıca her bir tablo alanının özelliklerinin belirlenirken ihtiyaca ve geleceği düşünerek belirlenmesi çok faydalı olacaktır. Fenerci'nin (2001) çalışmasında da belirttiği gibi normalizasyon kurallarının performansı da düşünerek sınırının belirlenmesinde fayda vardır.

Bu çalışmada genel olarak veri modelinin kalitesini ölçmek için bir değerlendirme sunulmuştur. Bu değerlendirme çalışmasının literatürde yer alması ile hem araştırmacılar hem de uygulayıcılar veri modelinin nasıl ve hangi kalite kriterleri ile değerlendirilebileceğini görebileceklerdir. Bilişim sistemi geliştirme safhalarından olan sistem analizi ve tasarımı aşamasında iyi tasarlanmış bir veri modelinin önemini tüm yazılım geliştiriciler tarafından algılanması ve uygulanması ile geliştirilen sistemlerin daha iyi bir şekilde geliştirilmesi sağlanabilecektir. Uzun, Buluş & Erdoğan (2018) çalışmasında performansı yüksek bir sistemin temelinde veri modelinin iyi bir şekilde kurgulanması gerektiğini aktarmıştır. Moody & Shanks (2003) çalışmalarında ise yazılım geliştirme erken safhasında veri modelindeki sorunların tespit edilmesinin önemini vurgulamışlardır. Sonuçta bu çalışmadaki gibi veri tabanının kalitesinin değerlendirilip ölçülerek, hataların erkenden giderilmesi ile veri modelinin kalitesinin artırılması ve bunun e-ISSN: 2148-2683

sonucunda da bu veri tabanının üzerinde çalışan sistemin performansının da artırılabilmesi mümkündür.

Bu çalışmanın devamı olarak çevik yazılım geliştirme ve veri ambarı çalışmalarındaki veri modelinin kalite kriterleri nedir ve nasıl ölçülmelidir ile ilgili çalışmalar yapılabilir.

#### Kaynakça

- Batini, C., Ceri, S., & Navathe, S. B. (1992). *Conceptual Database Design An Entity-Relationship Approach*. The Benjamin/Cummings Publishing.
- Business Analysis Body of Knowledge (BABoK) A Guide to Business Analysis Body of Knowledge. (2015). International Institute of Business Analysis.
- Chen, P. P. S. (1976). The Entity-Relationship Model-Toward a Unified View of Data. *ACM Transactions on Database Systems*, 1(1), 9-36.
- Chmura, A., & Heumann, J. M. (2005). *Logical Data Modeling What It Is and How To Do It*. Springer.
- Codd, E. F. (1970). A Relational Model of Data For Large Shared Data Banks. *Communications of the ACM*, 13(6), 377-387.
- Codd, E. F. (1979). Extending the Database Relational Model to Capture More Meaning. *ACM Transactions on Database Systems*, 4(4), 397-434.
- Codd, E. F. (1982). Relational Database: A Practical Foundation for Productivity. *Communications of the ACM*, 25(2), 109-117.
- Dama-Dmbok-Data Management Body Of Knowledge (Second Edition). (2017). Technics Publications.
- Date, C. J. (2019). *Database Design and Relational Theory Normal Forms and All That Jazz* (Second Edition). Apress.
- Dubielewicz, I., Hnatkowska, B., Huzar, Z., & Tuzinkiewicz, L. (2007). Evaluation of MDA/PSM Database Model Quality in the Context of Selected Non-Functional Requirements. *2nd International Conference on Dependability of Computer Systems(DepCoS-RELCOMEX'07)*.
- Fenerci, T. (2001). Veri Tabanı Tasarımının Önemi ve Normalizasyon Süreci. *Türk Kütüphaneciliği*, 15, 123-135.
- Genero, M., & Piattini, M. (2002). Quality in Conceptual Modelling. M. G. Piattini, C. Calero, & M. Genero, *Information And Database Quality*. Springer Science and Business Media.
- Getta, J. R. (2018). Automated Evaluation of Correctness and Quality of Database Conceptual Schemas. *BDET 2018: Proceedings of the 2018 International Conference on Big Data Engineering and Technolog*, (s. 20-25).
- Halpin, T., & Morgan, T. (2008). *Information Modeling and Relational Databases* (First Edition). Elsevier.
- Harrington, J. L. (2016). *Relational Database Design and Implementation* (Fourth Edition). Elsevier.
- Hoberman, S. (2015). *Data Model Scorecard Applying the Industry Standard on Data Model Quality* (First Edition). Technics Publications.

- Kesh, S. (1995). Evaluating the Quality of Entity Relationship Models. *Information and Software Technology*, 37(12), 681-689.
- Laudon, K. C., & Laudon, J. P. (2018). *Management Information Systems Managing the Digital Firm* (Fifteenth Global Edition). Pearson.
- Moody, D. L. (1994). *What Makes a Good Data Model? Evaluating Quality of Entity Relationship Models-Business Modelling and Re-Engineering 13th International Conference on the Entity-Relationship Approach*. United Kingdom,: Springer-Verlag.
- Moody, D. L. (1996). B. Thalheim (Dü.), *Graphical Entity Relationship Models: Towards a More User Understandable Representation of Data - Conceptual Modeling ER'96, 15th International Conference on Conceptual Modeling Cottbus*. Germany, Springer.
- Moody, D. L. (1998). Tok Wang, Ling Sudha Ram , & Mong Li Lee (Dü.), *Metrics for Evaluating the Quality of Entity Relationship Models-Conceptual Modeling - ER '98, 17th International Conference on Conceptual Modeling*. Springer.
- Moody, D. L., & Shanks, G. G. (2003). Improving the Quality of Data Models: Empirical Validation of a Quality Management Framework. *Information Systems*, 28, 619-650.
- O'Driscoll, K. (2016). The Agile Data Modelling & Design Thinking Approach to Information System Requirements Analysis. *Journal of Decision Systems*, 25(1), 632-638.
- Redman, T. (2001). *Data Quality: The Field Guide*. Digital Press.
- Silberschatz, A., Korth, H. F., & Sudarshan, S. (2020). *Database System Concepts* (Seventh Edition). McGraw-Hill Education.
- Thalheim, B. (2000). *Entity- Relationship Modeling - Foundations of Database Technology*. Springer.
- Uzun, E., Buluş, H. N., & Erdoğan, C. (2018). Veritabanı Tasarımının Yazılım Performansına Etkisi: Normalizasyona karşı Denormalizasyon. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 28(2), 887-895.



# Çapraz-Platform ile Gerçek Zamanlı Bulut Veritabanı İletişimi: Bütünleşik Ev Sistemi

Ergin Tosunoğlu<sup>1\*</sup>, Ahmet Berk Üstün<sup>2</sup>.

<sup>1\*</sup> Bartın Üniversitesi, Fen Fakültesi, Bilgisayar Teknolojisi ve Bilişim Sistemleri Bölümü, Bartın, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-4345-1173),  
ergintosunoglu@gmail.com

<sup>2</sup> Bartın Üniversitesi, Fen Fakültesi, Bilgisayar Teknolojisi ve Bilişim Sistemleri Bölümü, Bartın, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-1640-4291), ustun.ab@gmail.com

(İlk Geliş Tarihi 3 Mart 2021 ve Kabul Tarihi 7 Ekim 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.890291)

**ATIF/REFERENCE:** Tosunoğlu, E., Üstün, A.B., (2021). Çapraz-Platform ile Gerçek Zamanlı Bulut Veri Tabanı İletişimi: Bütünleşik Ev Sistemi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (27), 658-664.

## Öz

Mobil uygulamaları daha hızlı, daha kolay ve daha ucuz geliştirebilmek için yeni yöntemler ve araçlar kullanılmaya başlanmıştır. Bu bağlamda, Çapraz Platform (Cross-Platform) ile ayrı ayrı uygulama geliştirmek yerine tek bir uygulamanın farklı işletim sistemlerine kolaylıkla uyarlanabilmesini sağlamaktadır. Xamarin köklü programlama dilleri arasında yer alan C# ile Çapraz Platform uygulamalar geliştirmemize imkân vermektedir. Ayrıca, günümüzde bulut teknolojileri, bilişim sektörüne yeni bir boyut kazandırmış, bu durum geliştiricilere kendi veri tabanı sistemlerini kurmak yerine bulut hizmetlerini veri tabanı olarak kullanmaya yönlendirmiştir. Firebase bulut veri tabanı yapısı, kullanıcılara gerçek zamanlı veri ve depolama ile iOS, Android, Windows ve hatta web tabanlı uygulamalar arasında iletişim ortamını sağlamaktadır. Özellikle Nesnelerin İnterneti (Internet of Things) uygulamalarının eşzamanlı olarak verimli bir şekilde çalışabilmesi için gerçek zamanlı veri haberleşmesi son derece hayattır. Son yıllarda, Nesnelerin İnterneti yapılarının mobil uygulamalarla kontrolü ile farklı ölçek ve hedeflere sahip akıllı nesnelere birbirine bağlayan birçok çözüm üretilmiştir. Bu çalışmada, akıllı bir ev sistemini oluşturan farklı nesnelere tek yapı haline getirilerek bütünleşik bir sistem oluşturulmuştur. Xamarin çapraz platform kullanarak tasarlanan mobil uygulama ile bulut veri tabanının gerçek zamanlı veri özelliğini kullanarak bütünleşik sisteminin kontrolünü; IOS, Android ve Windows platformlarında çalışabilecek ortak bir ara yüz tasarımı ve arka plan kod yapısı ile gerçekleştirmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Nesnelerin interneti, Bütünleşik ev sistemi, Çapraz platform, Xamarin, Firebase, Gerçek zamanlı iletişim.

## Real-Time Cloud Database communication with Cross-Platform: Converged Home System

### Abstract

The use of new methods and tools have been begun in order to develop mobile applications faster, easier and cheaper. Cross-Platform makes an application possible to be easily adapted to different operating systems instead of developing applications separately. Xamarin enables us to build Cross-Platform applications with the rooted programming language of C#. In addition, today's cloud technologies have brought a new dimension to the IT sector and this has directed developers to utilize cloud services as a database instead of implementing their own database systems. Firebase cloud database structure offering real-time data and storage provides users with a communication environment among iOS, Android, Windows and even web-based applications. Specifically, real-time data communication is necessary to simultaneously run the applications of the Internet of Things (IoT) in an efficient manner. In recent years, many solutions that connect smart objects having different scales and targets have been developed by controlling the Internet of Things structures with mobile applications. In this study, an integrated smart system was built by combining different objects that form a smart home system unified into a single structure. The control of the mobile application designed using Xamarin Cross-Platform and the integrated system using the real-time data feature of the cloud database has been accomplished with a joint interface design and background code structure that runs on IOS, Android and Windows operating systems.

**Keywords:** Internet of things, Integrated home system, Cross platform, Xamarin, Firebase, Real-time communications.

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

## 1. Giriş

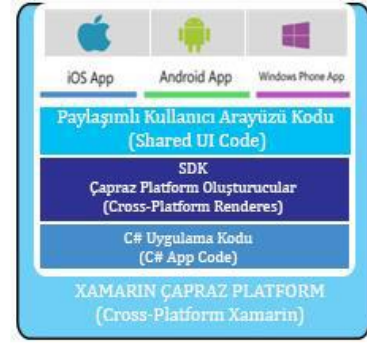
Günümüzde mobil cihaz kullanımındaki artışla beraber her alanda kullanılmaya başlayan mobil uygulamalar, kullanım alanı zenginliği ve platform çeşitliliği yönünden kullanıcı ihtiyaçlarına önemli çözümler sağlayabilmektedir. Mobil uygulamalar günlük hayatımızda haberleşmeden iletişime, nesnelerin interneti (Internet of Things) ile yaşamsal aktivitelerimizi kolaylaştırmaktan çalışmalarımızın verimliliğini arttırmaya kadar pek çok alanda karşımıza çıkmaktadır. Ancak bu uygulamaların geliştirilmesinde Android, IOS, Windows gibi farklı işletim sistemleri için farklı geliştirme ortamları ve geliştirme dilleri kullanılmaktadır. Bu platformlar birbirinden önemli ölçüde farklı olduğundan, geniş bir kullanıcı kitlesine ulaşmak isteyen yazılım geliştiricilerinin uygulamalarını her platform için ayrı ayrı geliştirmeleri gerekir. Bu durum uygulamanın geliştirme maliyetlerini artırmakta, bakım ve güncelleme ihtiyaçlarını zorlaştırmakta ve zaman kaybına neden olmaktadır.

Mobil uygulamalar önemini artırdıkça, mobil uygulamaların geliştirme yöntemleri de değişime uğramıştır. Mobil uygulamaları daha hızlı, daha kolay ve daha ucuz geliştirebilmek için yeni yöntemler ve araçlar kullanılmaya başlanmıştır. Çapraz platform (cross-platform) adı verilen bu araçlar, her işletim sistemi (IOS, Android, Blackberry ve Windows gibi) için ayrı ayrı uygulama geliştirmek yerine tek bir uygulamanın farklı işletim sistemlerine kolaylıkla uyarlanabilmesi özelliği ile çıkmışlardır (Xanthopoulos & Xinogalos, 2013). Platformlar arası geliştirme yaklaşımları, geliştiricilerin uygulamalarını bir dizi platform için tek adımda uygulamalarına izin vererek, farklı derleme yapılarından kurtulmalarına ve üretkenliğin artmasına olanak sağlamıştır (Heitkötter, Hanschke & Majchrzak, 2012).

Çapraz platform uygulama geliştirme araçlarından biri olan Xamarin; bize köklü programlama dilleri arasında yer alan C # ile iOS, Android ve WindowsPhone için mobil uygulamaları geliştirme imkânı vermektedir. Java ve Objective-C yerine mobil uygulamaları geliştirmek için Xamarin'i seçmenin birçok avantajı bulunmaktadır; platformlar arasında kod paylaşabilmekte, C # ve .NET temel sınıf kitaplıklarının gelişmiş dil özelliklerinden yararlanarak daha verimli uygulamalar geliştirilebilmektedir (Peppers, 2015). Tek kod ile çoklu işletim sistemi (Android, iOS ve Windows Phone) için uygulama geliştirilmesine imkan vermektedir. Microsoft bünyesinde olması sebebi ile destek sistemi güçlüdür, köklü bir dil olan C# kullanıcı sayısı sayesinde, kaynak bulma ve derlenmiş kodlara ulaşma imkânı bulunmaktadır (Atkinson, 2016). Visual Studio rahat bir geliştirme ortamı sunmasının yanında geniş kütüphane yelpazesine sahiptir ve geliştiricilere kendi kütüphanelerini yazma imkânını da vermektedir (VisualStudio, 2020).

Şekil 1'deki Diyagramda, platformlar arası bir Xamarin uygulamasının genel mimarisi gösterilmektedir. Xamarin, her platformda yerel kullanıcı arabirimi oluşturmanızı ve C# dili ile platformlar arasında paylaşılan uygulamalar yazmanızı sağlar. Xamarin bu işlemi yapabilmek için C# derleyicisi içerisinde Android, Windows ve IOS SDK'larını barındırır. C# ile yazılan kodlar bu SDK'lar üzerinden istenen platforma uygun hale getirilir. Xamarin'i diğer platformlardan ayıran önemli bir özelliği de; uygulamanın C# kodunun, dağıtmakta olduğunuz işletim sisteminin (Android, iOS, WindowsPhone) koduna derlenmesi yapılırken bazı optimizasyon işlemlerinden geçirilmesidir. Bu işlemin sonucu oluşturulan çıktı,

geliştiricilerin yaptığı bazı temel hataları da ortadan kaldırdığı için çoğunlukla Native ortamda yazılan kodlara göre performansı daha yüksektir (Hermes, 2015).



Şekil 1. Xamarin çalışma diyagramı (Xamarin work diagram)

Mobil uygulama hangi platform için tasarlanırsa tasarlanırsın günümüzdeki mobil uygulamaların büyük bölümü veri tabanlarına ve örgütlenmemiş verilere giderek daha fazla bağımlı hale gelmiştir. İlişkisiz Veri Tabanı Yönetim Sistemleri (RDBMS) ile yapılandırılmamış verilerin işlenmesi oldukça zor olup, geleneksel veri tabanları ile yapılan işlemler artı maliyet oluşturmakta ve zaman kaybına neden olmaktadır (Khawas & Shah, 2018). Günümüzde bulut teknolojileri, bilişim sektörüne yeni bir boyut kazandırmıştır. Bu boyut geliştiricilere, kendi veri tabanı sistemlerini kurmak için büyük miktarda yatırım yapmak yerine ücretsiz veya karşılanabilir miktar da ödeme yaparak bulut hizmetlerini veri tabanı olarak kullanmaya yönlendirmiştir. Bulut teknolojileri sanal ortamda barındırılan uygulamaların ya da verilerin internet ile her yerden erişilmesine imkân vererek, başka yöntemler ile uzun sürelerde gerçekleşen veri işlemlerinin olabilecek en kısa sürede gerçekleştirilmesini kolaylaştırmıştır (Ataç & Akleylek, 2019). Maliyet tasarrufu, daha hızlı uygulama performansı ve gerçek zamanlı veri transferi sağlamları bulut veri tabanlarının (Cloud-Databases) mobil uygulama geliştiricileri tarafından tercih edilmesini yaygınlaştırmıştır (Al Shehri, 2013).

Google tarafından geliştiricilerin hizmetine sunulan Firebase, bulut tabanlı bir veri tabanı yapısıdır. Firebase büyük ve karmaşık yapıdaki verileri saklamak ve hızlıca sorgulamak amacıyla geliştirilmiş doküman tabanlı Nosql veri tabanıdır. Firestore esnek bir yapıya sahiptir. Veriler istenilen şemada tutulabilir. Veriler doküman (document) adı verilen yapılar halinde saklanır. Doküman topluluğuna ise koleksiyonlar (collections) adı verilmektedir. Bu yapı itibarıyla diğer Nosql veri tabanlarına benzemektedir (FirebaseGoogle, 2020)

Şekil 2' de Firebase yapısının sağladığı hizmetler gösterilmiştir. Firebase, gerçek zamanlı veri ve depolamayla iOS, Android, Windows ve hatta web tabanlı uygulamalar oluşturmak için kullanılabilir ve yazılım geliştiricilerinin kullanabileceği farklı ürünlerde sunulmaktadır (Stonehem, 2016). Firebase'in öne çıkan birkaç özelliği; uygulama yönetimi, kullanıcı etkinlikleri, veri depolama ve bildirim gönderimi olarak sıralanabilir.





Şekil 2. Firebase hizmetleri (Firebase services)

Firebase Authentication hizmeti, bir uygulama üzerinden kimlik doğrulamasını onaylamak için arka uç hizmetleri, kullanımı kolay SDK'lar ve anlık kullanıcı arabirimi kitaplıkları sağlar. Google, e-posta/şifre, telefon, Play Oyunlar, Facebook, Twitter, GitHub, Anonim oturum açma sağlayıcılarıyla yetkilendirilen alanlar için kullanıcılar sunucu tarafı kodu olmadan doğrulanabilmekte ve yönetilebilmektedir (Moroney, 2017a).

Firebase Cloud Messaging; Android, IOS ve web uygulamaları için mesaj ve bildirim gönderimi sağlayan platformlar arası bir bulut bildirim hizmetidir. Uygulama geliştiricilerinin, sunucu ve aygıtlar arasında iOS, Android ve web üzerinde ücretsiz olarak mesaj ve bildirim gönderip almasına olanak tanımaktadır (Moroney, 2017b).

Firebase Real-time Database; gerçek zamanlı veri tabanı işlemlerini bulut ortamında barındırılan bir veri tabanıdır. Veriler JSON olarak depolanır ve ilişkili her istemciyle sürekli olarak senkronize edilir. IOS, Android ve JavaScript SDK'larıyla herhangi bir platformlar arası uygulama geliştirildiğinde, kullanıcının talebinin büyük kısmı bir gerçek zamanlı veri tabanı örneğine dayanır ve bu örnek her yeni veriyle güncellenir. Bu özellik, geliştiricilerin bir veri tabanı geliştirme adımını atlamasına olanak tanır ve Firebase uygulamalar için arka uçta verilerin çoğunu işler (Chatterjee vd., 2018)

Günümüzde pek çok uygulama gerçek zamanlı (Real-time data) veri haberleşmesine ihtiyaç duymaktadır. Özellikle nesnelerin interneti (IoT) uygulamalarının eşzamanlı olarak çalışabilmesi için gerekli tüm veri; minimum veri kaybı ile hızlı bir şekilde iletilmelidir (Swahadika, Besari & Wibowo, 2019) IoT uygulamaları her geçen gün hayatımızın pek çok alanında kendisini göstermektedir.

Son yıllarda, ısıtma sisteminin, aydınlatmanın veya güvenlik sisteminin mobil uygulamalarla kontrolü gibi farklı ölçek ve hedeflere sahip akıllı nesnelere birbirine bağlamak için birçok çözüm ortaya çıkmıştır (Mineraud vd. 2016). Bu uygulamaların büyük çoğunluğu tek bir nesnenin kontrolü kurgusu üzere yapılmaktadır. Daha geniş bir ölçekte, birden çok sistemin tek bir uygulama ile kontrolünün gerçekleştirilmesi, bütünleşik bir IoT sağlayarak; sistemin bakımını, yeniden kalibrasyonunu kolaylaştıracak ve yeni IoT çözümlerinin gelişimine ve yönetimine fayda sağlayacaktır (Tsai vd. 2013). IoT sistemlerinde, tüm nesnelere bilgi toplayan, onlarla iletişim halinde olan ve nesnelerin kullanılma derecesine göre sunucuya

veya doğrudan kullanıcıyla iletişim kuran bir yapı tasarlamak çok önemlidir (Dener, 2019).

Bütünleşik bir sistem tasarlanmasının bazı karmaşık yönleri ve zorlukları bulunmaktadır. Her platform için ayrı kodlama yapılması ve iletişim protokollerinin ayrı ayrı tasarlanması hem zaman kaybına hem de maliyetin artmasına neden olabilmektedir. Diğer bir durum ise uygulama ile sistem arasındaki iletişimi sağlayacak yapının platformlar tarafından desteklenmesi gereksinimidir (Tao vd.,2019). IoT sistemleri için ön uç ve kullanıcı ara yüzlerinin geliştirilmesinde çapraz platform uygulamaları önemli bir rol oynayacaktır. Nihai uygulayıcılar tarafından çözümlerin kabulünde, platform farklılığının bir önemi olmayıp, istedikleri bütünleşik bir IoT yapısını her tür mobil cihazla izlemek veya kontrol edebilmektedir (Umuhzo, 2017).

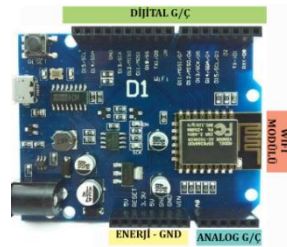
Bu çalışmada, Xamarin Çapraz-Platform kullanarak oluşturulan mobil uygulama ile bulut veri tabanının gerçek zamanlı veri özelliğini kullanarak bütünleşik bir ev sisteminin kontrolünü; IOS, Android ve Windows platformlarda çalışabilecek ortak bir ara yüz tasarımı ve arka plan kod yapısı ile gerçekleştirebilmek amaçlanmıştır. Bütünleşik bir IoT sistemin çapraz platform bir mobil uygulama ile çalışabilirliğinin sağlanmasının; her platform için ayrı ayrı ara yüz oluşturma, arka plan kod bloğu yazma ve iletişim protokolü oluşturma ihtiyacını ortadan kaldıracığı, bu sayede hem IoT hem de mobil uygulama boyutunda yeni çözümlerin gelişimine ve yönetimine fayda sağlayacağı, sistem bakımlarını ve güncellemelerini kolaylaştıracığı düşünülmektedir. Oluşturulan sistem birden fazla konutun veya iş yerinin tek bir uygulama üzerinden kontrolünde olanak sağlayacaktır.

## 2. Sistem Yapısı (System Structure)

Mobil uygulama ile gerçek zamanlı çalışan bir sistemin izleme ve kontrol işlemlerinin tasarımı üç aşamalı olarak gerçekleştirilmiştir. Bunlar; sistemin kontrolünü ve ortam değerlerinin ölçülmesini sağlayan elektronik devre, elektronik devrenin kontrolünü ve izlenmesi sağlayan mobil uygulama ile bu iki unsur arasındaki iletişimi sağlayacak olan gerçek zamanlı Firebase veri tabanının yapılandırılmasıdır.

### 2.1. Elektronik Devre (Electronic Circuit)

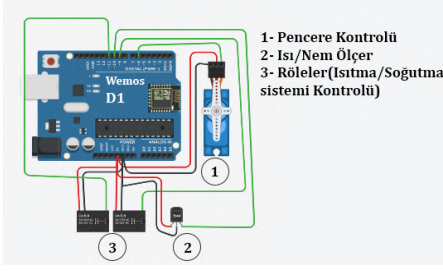
Elektronik devrenin kontrol ünitesi olarak; kendi üzerinde kablosuz haberleşme modülü bulundurması, analog ve dijital giriş/çıkış sistemlerini barındırması, düşük maliyetine göre yüksek performansla sahip olması nedeniyle Arduino-Wemos-D1 kullanılmıştır. Şekil3 'de Wemos-D1 genel yapısı görülmektedir.



Şekil 3. Wemos-D1 yapısı (Wemos-D1 structure)

Ortama ait sıcaklık ve nem bilgileri, dijital yapıya sahip DHT22 sensörü kullanılarak ölçülmektedir. Isıtma ve soğutma sistemlerinin aç/kapat işlemi için SDR-5VDC(10A-220V) röle kullanılmıştır. Pencerenin dereceli olarak açılışını ve

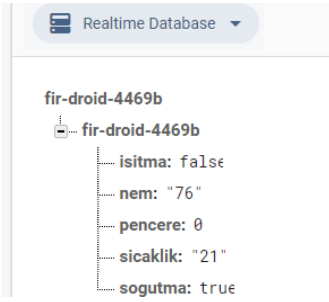
kapanmasını sağlamak için servo kullanılmıştır. Devrenin bağlantı tasarımı Şekil 4' deki gibidir.



Şekil 4. Bağlantı şeması(Connection scheme)

## 2.2. Firebase Bulut Veri Tabanı (Firebase Cloud Database)

Verilerin hem mobil uygulamada hem de elektronik devre üzerinde anlık olarak işlenmesi için Firebase bulut veri tabanının Realtime özelliği kullanılmıştır. Çalışma için oluşturulan Firebase Realtime veri tabanı yapısı Şekil 5'de verilmiştir.



Şekil 5. Firebase Realtime veri tabanı yapısı  
(Firebase realtime database structure)

Çalışma için kullanılan Firebase veri tabanı, hem mobil uygulama tarafında hem de elektronik devre tarafında anlık olarak okuma ve yazmaya açık olarak uyarlanmıştır. Bunun için Realtime özelliğinin kurallar dizini içerisinde okuma/yazma kurallarının aktif halde bulunması gerekmektedir.

Oluşturulan veri tabanı yapısı çift yönlü çalışacak şekilde tasarlanmıştır. Elektronik devreden gelen veriler, veri tabanımıza işlenerek mobil uygulama tarafından izlenmektedir. Mobil uygulama tarafından gelen veriler Firebase üzerinden elektronik devreye aktarılmaktadır. Bu yapı sayesinde internet erişiminin bulunduğu her noktadan sistemi gerçek zamanlı olarak kontrol etmek ve izlemek mümkün olmaktadır.

## 2.3. Mobil Uygulama (Mobile Application)

Geliştirilen mobil uygulama; Xamarin üzerinde C# programla dili kullanılarak çapraz platform olarak tasarlanmıştır. Uygulamanın Firebase veri tabanı ile bağlantı kurulabilmesi ve işlem yürütebilmesi için haberleşme ve iletişim kodlarını içeren bir Firebase Kütüphanesi (Nuget) çapraz platforma eklenmiştir. Burada dikkat edilmesi gereken husus, kullanılan kütüphaneye göre veri tabanına erişim ve işlem için gerekli kod yapıları farklılık gösterebildiği gibi desteklenen platformlarda farklılık gösterebilmektedir.

Çalışmada Android, IOS ve Windows işletim sistemleri tarafından da desteklenen, Firebase REST API' sinin üzerine kurulmuş, Firebase Realtime Database için gerekli mimariyi de

içeren "FirebaseDatabase.net (Version=4.0)" kütüphanesi kullanılmıştır.

Uygulamanın ilk aşamasında eklemiş olduğumuz "FirebaseDatabase.net" nuget kodları kullanılarak veri tabanı ile çapraz platform arasındaki iletişim köprüsünün kurulması sağlanmıştır.

```

DatabaseReference database = FirebaseDatabase
.GetInstance("https://fir-
.firebaseio.com/")//Firebase Proje Adresiniz
.GetReference("fir-
"); //Veritabanı Kodumuz

```

Şekil 6. Firebase İletişim kodu

Geliştirilen projede kullanılan iletişim kodu yapısı Şekil 6' da verilmiş olup bu kod yapısı Firebase üzerinde oluşturulan Realtime-Database projemizin altındaki veri setine ulaşmamızı sağlayacaktır.

Veri seti içerisine mobil uygulama ile veri gönderme işlemi için iki metot kullanılmıştır. Bunları senkron ve asenkron olarak sınıflandırmak mümkündür. Mobil uygulamada ısıtma ve soğutma sistemlerinin açma/kapama işlemleri bir buton yardımı ile gerçekleştiğinden eylemin gerçekleşme durumu göz önüne alınarak Şekil 7'deki asenkron kod yapısı kullanılmıştır. Ancak pencere açma ve kapanma eylemi bir bar ile gerçekleşmekte olup, barın anlık olarak aldığı değerlerin veri setine anlık olarak işlenmesi Şekil 8'deki senkron kod yapısı ile gerçekleştirilmiştir.

```

var myRef = database.Child("isitma");
await myRef.SetValueAsync(switch1.Checked);

```

Şekil 7. Asenkron kodlama(Asynchronous coding)

```

var myRef = database.Child("pencere");
myRef.SetValue(e.Progress);

```

Şekil 8. Senkron kodlama (Synchronous coding)

Kullanıcının mobil uygulama üzerinde bütünlük akıllı sistem ile ilgili tüm değerleri ve anlık değişimleri takip edebilmesi için Firebase üzerindeki değişimleri izlemesi sağlanmıştır. Bunun için Şekil 9'da verilmiş olan kod yapısı kullanılmıştır.

```

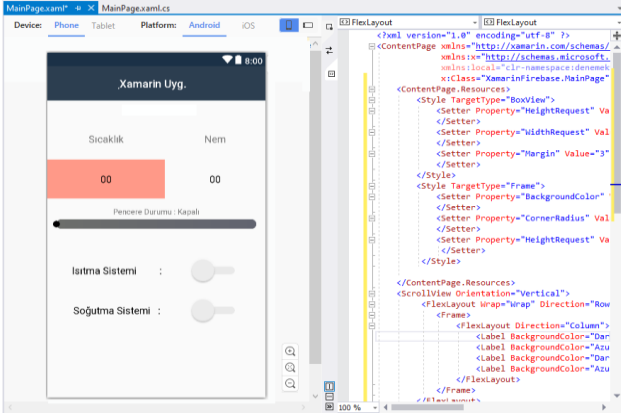
var data_list = database.Child("fir-
")//Veri dosya adı.
.AsObservable<degerler>().AsObservableCollection<>();
return data_list;

```

Şekil 9. Veri tabanı izleme kod bloğu

(Database tracking code block)

Kullanılan ObservableCollection sınıfı kod bloğu ile Firebase veri tabanımızın üzerindeki işlemler izlenmektedir. Bu işlem sürekli olarak veri tabanına bağlı kalmamızı gerektirmeyerek arka planda çalışan kod bloğunun iş yükünü azaltmaktadır. Veri setinde bir değişiklik olduğunda ObservableCollection metodun oluşturduğu liste güncellenerek arka plan olaylarının tetiklenmesini ve ilgili kod yapılarının çalışmasını sağlamaktadır.



Şekil 10. Uygulama arayüzü

(Application interface)

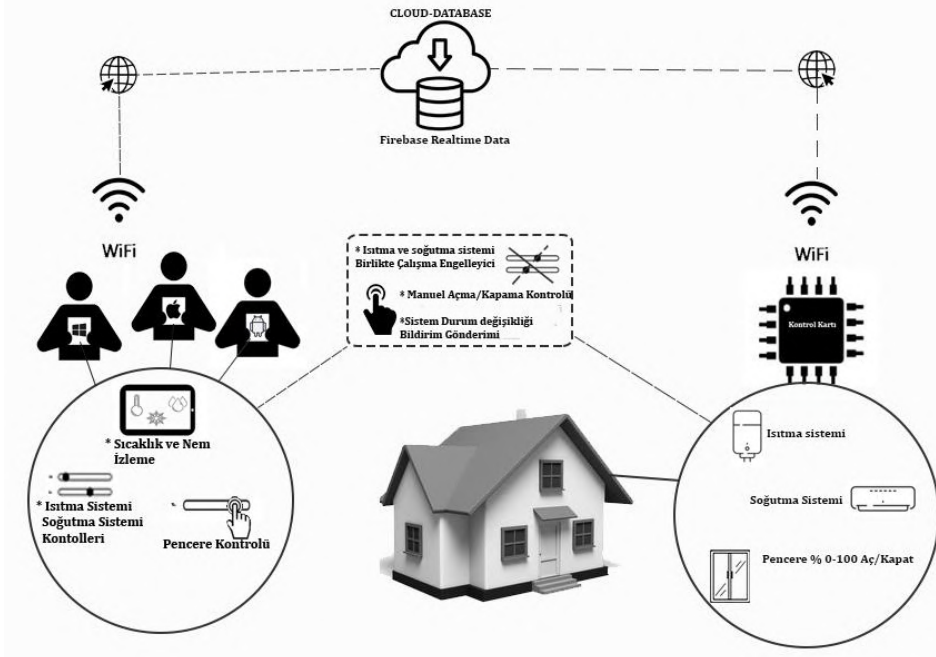
Mobil uygulamanın ara yüz tasarımı Şekil 10'da gösterilmiştir. Ara yüzün tasarımında Visual Studio'nun içerdiği nesnelerin kullanılabilir olması Xamarin tarafında tasarımı kolaylaştırmıştır. Ayrıca Xamarin yapısında ara yüz tasarımı kodları XAML tabanlıdır. XAML, mobil uygulama

geliştiricilerin kod yerine işaretleme kullanarak Xamarin. Forms uygulamalarında kullanıcı arabirimleri tasarımı için kolaylık sağlamıştır

### 3. Sistem Mimarisi Ve Çalışması (System Architecture and Its Work)

Oluşturulan IoT sistemin çalışma mimarisi Şekil 11'de verilen şemada gösterilmiştir. Mobil uygulama çapraz-platform olarak tasarlanmış olup, Android, IOS ve Windows sistemler üzerinden çalışabilmektedir. Sistemin veri aktarımları internet üzerinden gerçekleştirildiğinden, mobil uygulamanın bağlantıya eriştiği her durumda konum gözetilmeksizin kontrol ve izleme sağlanmaktadır.

Elektronik sistem, ortamın sıcaklık ve nem değerlerini ölçerek internet üzerinden Firebase veri tabanına göndermekte, aynı zamanda sistem içerisindeki ünitelerin durum bilgisini de veri tabanı üzerine işlemektedir. Mobil uygulama veri tabanındaki değişiklikleri gerçek zamanlı olarak okumakta ve bu verileri kullanıcıya bildirmektedir. Elektronik sistem mobil uygulama tarafından gönderilen işlem isteklerini anlık olarak veri tabanı üzerinden okuyarak ünitelerin kontrolünü sağlamaktadır.



Şekil 11. Sistem mimarisi (System architecture)

Kullanıcılar mobil uygulama üzerinden ortamdaki ısıtma ve soğutma sistemlerini kontrol edebilmekte, pencerelerin istenilen derecede açılmasını/kapanmasını sağlayabilmektedir. Isıtma veya soğutma sistemleri manuel olarak veya diğer bir kullanıcı tarafından açılır veya kapatılır ise sistemlerin durumundaki bu değişim veri tabanında anlık olarak işlendiğinden sistem durum değişikliği mobil uygulama tarafından algılanarak kullanıcılara ekran üzerinde bilgilendirme mesajı iletilmektedir.

Geliştirilen mobil uygulama; ısıtma veya soğutma sistemleri çalıştırılmak istendiğinde, mevcut durumlarını veri tabanı üzerinden kontrol etmektedir. Isıtma ve soğutma sistemlerinden birinin devrede olması durumunda her iki sistemin aynı anda devreye alınmasını engelleyerek, kullanıcıya çalışan sistem bilgisini ekran üzerinde bilgilendirme mesajı olarak göstermektedir.

## 4. Sonuç ve Tartışma (Conclusion and Discussion)

Bu çalışmada, akıllı bir ev sistemini oluşturan farklı nesnelere tek yapı haline getirilerek bütünlük bir akıllı sistem oluşturulmuş ve tasarlanan bütünlük akıllı ev sisteminin kontrolü; Xamarin üzerinde çapraz-platform bir mobil uygulama geliştirilerek Firebase bulut veri tabanı ile gerçek zamanlı olarak gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen uygulama çapraz-platform olarak yapılandırıldığından tek bir ara yüz tasarımı ve arka plan kod yapısı kullanılarak IOS, Android ve Windows işletim sistemleri üzerinde çalışabilirliği sağlanmıştır. Bu sayede her işletim sistemi için ayrı ayrı ara yüz tasarımı, kod bloğu yazma ve iletişim protokolü oluşturma ihtiyacı ortadan kalkmıştır. Kontrolü gerçekleştirilecek IoT sistem bütünlük bir yapıya sahip olup sıcaklık ve nem ölçümleri, ısıtma, soğutma ve havalandırma sistemlerinin kontrolü platform farkı olmaksızın yapılabilmektedir.

Mobil uygulamaların birden fazla platformda geliştirilmesi beraberinde bazı sorunları getirmekte ve bu sorunların platformlar arası farklılıklara bağlı sebeplerden kaynaklandığı görülmektedir. Bu nedenle, mobil uygulama geliştiricileri uygulamalarını farklı bir platforma taşımaya karar verdiklerinde veya diğer platformlar ile uyumluluk yakalamak istediklerinde, sorunlarla karşılaşma olasılığı oldukça yüksektir (Aljedaani vd. 2019). Çalışmada oluşturulan mobil uygulama ile platformlar arası farklılıklardan kaynaklı sorunlar Xamarin'in sağladığı Çapraz-Platform yapısı sayesinde aşılmıştır. Uygulamanın güncellenmesi ya da geliştirilmesi gibi ileriki süreçte yapılacak işlemler de mevcut çapraz platform yapısı ile gerçekleştirileceğinden platformlar arası uyum sorunlarına da çözüm sağlanmıştır.

Diğer bir husus da IoT tabanlı çözümlerin son kullanıcılar tarafından farklı akıllı telefon ve tabletlerde kullanılma istediğidir. Bu durum farklı cihazların izlenmesinde ve daha fazla senaryo oluşturulmasında, akıllı cihazlar için IoT uygulamaları geliştirmeyi ve bu hizmetlerin kullanıcıya sunulmasını gerektirmektedir (Datta vd. 2015). IoT cihazlarının sınırlı yetenekleri ile sürekli artan kullanıcı talepleri arasındaki çelişki, IoT uygulamalarının geliştirilmesinin önünde büyük bir engel olmaya devam etmektedir. Farklı IoT mimarilerini birleştirmenin yanı sıra çapraz-platform uygulamaları oluşturmanın yararları günümüzde giderek önem kazanmaktadır (Ren vd. 2017). Oluşturulan akıllı sistem bütünlük bir yapıya sahip olmasından dolayı farklı nesnelere kullanımında ve daha fazla senaryo oluşturulmasında kolaylık sağlamak aynı zamanda yapısı sayesinde ilave nesnelere eklenmesine olanak tanımaktadır. Oluşturulan mobil uygulama çapraz-platform yapıya sahip olduğundan farklı IoT mimarilerini birleştirilmesine ve kullanıcı taleplerinin akıllı telefon ve cihazların büyük bölümünden karşılanması sağlanmaktadır.

IoT cihazlarının birlikte çalışabilirliğini sağlamak, IoT yönetiminin karmaşıklığı, akıllı sistemlerin mobil içerikle uyum sorunu ve IoT sistemlerin uyarlanabilir özellikler gerektiren dinamik yapıları nedeniyle mobil platformlar arasında son kullanıcı uygulamalarının geliştirilmesini zorlaştırmaktadır (Soursos vd 2016). IoT sistemin mobil cihazlarla uyum sorunu tasarlanan IoT sistemin ve mobil uygulamanın çapraz platform olarak tasarlanması ile giderilmiştir. Bu sayede IoT sistem dinamik yapısı etkilenmeden mobil platformlar arasında uygulama geliştirme sağlanmıştır. Xamarin sağladığı yapı

sayesinde; işletim sistemleri arasındaki yapısal farklılıklardan arındırılmış bir uygulama geliştirilmesine imkân sunmuş, Firebase benzeri bulut veri tabanları ile uyumlu oluşu bütünlük bir IoT sistem ile mobil arasında dinamik bir yapı sağlanmıştır. Bu durum son kullanıcılar tarafında farklı cihaz ve platform seçenekleri sağlayarak değişik senaryolar oluşturulabilmesini ve akıllı sistem kullanımını kolaylaştırmaktadır.

Çalışmanın bir sonraki aşamasında güvenlik sistemi ve kamera sisteminin yapıya eklenmesi sağlanabilir veya benzer bir çalışma günümüzde giderek popüler hale gelen farklı bir çapraz platform olan React Native veya Flutter ile gerçekleştirilerek çapraz-platformlar arasında karşılaştırma yapılabilir.

## Kaynakça

- Al Shehri, W. (2013). Cloud database database as a service. *International Journal of Database Management Systems*, 5(2), 1.
- Aljedaani, W., Nagappan, M., Adams, B., & Godfrey, M. (2019, May). A comparison of bugs across the iOS and Android platforms of two open source cross platform browser apps. In *2019 IEEE/ACM 6th International Conference on Mobile Software Engineering and Systems (MOBILESoft)* (pp. 76-86). IEEE.
- Ataç, C., & Akleyek, S. (2019). A survey on security threats and solutions in the age of IoT. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (15), 36-42.
- Atkinson, D.M. (2016). *The Xamarin Forms Handbook*. South Carolina: CreateSpace Independent Publishing.
- Chatterjee, N., Chakraborty, S., Decosta, A., & Nath, A. (2018). Real-time communication application based on android using Google firebase. *Int. J. Adv. Res. Comput. Sci. Manag. Stud*, 6(4).
- Datta, S. K., Gyrard, A., Bonnet, C., & Boudaoud, K. (2015, August). oneM2M architecture based user centric IoT application development. In *2015 3rd International Conference on Future Internet of Things and Cloud* (pp. 100-107). IEEE.
- Dener, M. (2019). A New Home Gateway Design and A Sensor-Based Smart Home Application Including Privacy Protection. *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 12(1), 23-32.
- Firestore. Available from: <https://firebase.google.com/products> [Çevrimiçi Erişim Tarihi: 01/04/2020].
- Heitkötter, H., Hanschke, S., & Majchrzak, T. A. (2012, April). Evaluating cross-platform development approaches for mobile applications. In *International Conference on Web Information Systems and Technologies* (pp. 120-138). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Hermes, D. (2015). *Xamarin mobile application development: Cross-platform c# and xamarin. forms fundamentals*. New York: Apress.
- Khawas, C., & Shah, P. (2018). Application of firebase in android app development-a study. *International Journal of Computer Applications*, 179(46), 49-53.
- Mineraud, J., Mazhelis, O., Su, X., & Tarkoma, S. (2016). A gap analysis of Internet-of-Things platforms. *Computer Communications*, 89, 5-16.
- Moroney, L. (2017a). *Definitive Guide to Firebase*. California: Apress.
- Moroney, L. (2017b). *Firestore cloud messaging*. In *The Definitive Guide to Firebase* (pp. 163-188). Berkeley: Apress.

- Peppers, J. (2015). *Xamarin Cross-platform Application Development*. Birmingham: Packt Publishing Ltd.
- Ren, J., Guo, H., Xu, C., & Zhang, Y. (2017). Serving at the edge: A scalable IoT architecture based on transparent computing. *IEEE Network*, 31(5), 96-105.
- Soursos, S., Žarko, I. P., Zwickl, P., Gojmerac, I., Bianchi, G., & Carozzo, G. (2016, June). Towards the cross-domain interoperability of IoT platforms. In *2016 European conference on networks and communications (EuCNC)* (pp. 398-402). IEEE.
- Stonehem, B. (2016). *Google Android Firebase: Learning the Basics* (Vol. 1). U.K:First Rank Publishing.
- Swahadika, E., Besari, A. R. A., & Wibowo, I. K. (2019, September). Implementation of Realtime Database for IoT Home Automation and Energy Monitoring Apps based on Android. In *2019 International Electronics Symposium (IES)* (pp. 170-176). IEEE.
- VisualStudio. 2020; Available from: <https://visualstudio.microsoft.com/tr/xamarin/> [Çevrimiçi Erişim Tarihi: 02/04/2020].
- Tao, M., Zuo, J., Liu, Z., Castiglione, A., & Palmieri, F. (2018). Multi-layer cloud architectural model and ontology-based security service framework for IoT-based smart homes. *Future Generation Computer Systems*, 78, 1040-1051.
- Tsai, C. W., Lai, C. F., Chiang, M. C., & Yang, L. T. (2013). Data mining for internet of things: A survey. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 16(1), 77-97.
- Umuhzo, E. (2017). *Domain-specific modeling and code generation for cross-platform mobile and IoT-based applications*. Doktora tezi, Politeknik Üniversitesi, Bilgisayar Bilimi ve Mühendisliği, Milano.
- Xanthopoulos, S., & Xinogalos, S. (2013, September). A comparative analysis of cross-platform development approaches for mobile applications. In *Proceedings of the 6th Balkan Conference in Informatics* (pp. 213-220).



# Optimization and Enhancement of Decorative Glass Organic Coating Properties Containing Ulexite Mineral

Nil Acaralı<sup>1\*</sup>, Rabia Oktay<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Yıldız Technical University, Faculty of Chemical and Metallurgical Engineering, Department of Chemical Engineering, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0003-4618-1540), [nilbaran@gmail.com](mailto:nilbaran@gmail.com)

<sup>2</sup> Yıldız Technical University, Faculty of Chemical and Metallurgical Engineering, Department of Chemical Engineering, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0002-0906-1083), [rabiakoky@gmail.com](mailto:rabiakoky@gmail.com)

(First received 7 March 2021 and in final form 17 October 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.892579)

**ATIF/REFERENCE:** Acaralı, N. & Oktay, R. (2021). Optimization and Enhancement of Decorative Glass Organic Coating Properties Containing Ulexite Mineral. European Journal of Science and Technology, (27), 665-669.

## Abstract

Nowadays, glass coatings have a wide range in the industry and have been an important research topic. It is preferred to use glass as a decorative object especially in daily life. In this study, decorative glass coating was tried to be developed with the use of ulexite. The ulexite mineral is a mineral consisting of white round crystalline masses. Test results (visual, hydrophobicity, adhesion tests, etc.) showed that the use of ulexite with additives (potassium dichromate and surfactant) positively affects the coating properties in decorative glass coating production. In the experimental study, Taguchi Method was used as an optimization method and the results were analyzed to improve cost and quality to determine the optimum process parameters. TG-DTA (Thermal Gravimetric Differential Thermal Analysis) and SEM (Scanning Electron Microscope) methods were used to characterize the thermal properties and physical morphological properties of the coatings prepared, respectively. It was observed that the additives added in the coatings prepared did not have a negative effect on the structure of the coating. As a result, the additives used improved the properties of glass coatings and the results showed that additive coatings prepared in various industries can be evaluated.

**Keywords:** Ulexite, Glass, Coating, Surfactant.

## Üleksit Minerali İçeren Dekoratif Cam Organik Kaplama Özelliklerinin Optimizasyonu ve İyileştirilmesi

### Öz

Günümüzde cam kaplamalar sektörde geniş bir yelpazeye sahip ve önemli bir araştırma konusu olmuştur. Özellikle günlük hayatta camın dekoratif obje olarak kullanılması tercih edilmektedir. Bu çalışmada üleksit kullanılarak dekoratif cam kaplama geliştirilmeye çalışılmıştır. Üleksit minerali, beyaz yuvarlak kristal kütlelerden oluşan bir mineraldir. Test sonuçları (görsel, hidrofobiklik, yapışma testleri vb.) dekoratif cam kaplama üretiminde üleksitin katkı maddeleri (potasyum dikromat ve yüzey aktif madde) ile kullanımının kaplama özelliklerini olumlu yönde etkilediğini göstermiştir. Deneysel çalışmada, optimizasyon yöntemi olarak Taguchi Yöntemi kullanılmış ve optimum süreç parametrelerini belirlemek için maliyet ve kaliteyi iyileştirmek için sonuçlar analiz edilmiştir. Hazırlanan kaplamaların termal özelliklerini ve fiziksel morfolojik özelliklerini karakterize etmek için TG-DTA (Termal Gravimetrik Diferansiyel Termal Analiz) ve SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) yöntemleri kullanılmıştır. Hazırlanan kaplamalara eklenen katkı maddelerinin kaplamanın yapısına olumsuz bir etkisi olmadığı görülmüştür. Sonuç olarak, kullanılan katkı maddeleri cam kaplamalarının özelliklerini iyileştirmiş ve sonuçlar çeşitli endüstrilerde hazırlanan katkı kaplamalarının değerlendirilebileceğini göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Üleksit, Cam, Kaplama, Yüzey Aktif Madde.

\* Corresponding Author: [nilbaran@gmail.com](mailto:nilbaran@gmail.com)

## 1. Introduction

Glass is a highly preferred material as colored coatings in industrial applications. Glass is an amorphous solid which is a non-crystalline and transparent. In addition, it has technological and decorative use. The most known and historically oldest types are silicate glasses according to the chemical composition of silica and the basic component of the sand [1]. Color coating includes many components. One of the most important material is boron. Boron is utilized in fiberglass production in combination with heat resistant borosilicate glasses such as automotive and laboratory equipments. Borosilicate glass is acceptable since the addition of boron oxide reduces the expansion coefficient, thereby increasing the thermal shock resistance of the glass. [2-5]. Ulexite is a borate mineral. Ulexite concentration is commercially substantial since boron compounds are evaluated to produce material for many applications of the industry. Ulexite is appeared in evaporite deposits and the precipitated ulexite usually forms a "cotton ball" tuft. Ulexite belongs to the pentaborate group since it has five boron atoms. Ulexite crystals include three structural groups. These are named pentaborate polyanions, sodium coordinated octahedra and calcium coordinated polyhedra. These groups are shared together and cross linked by hydrogen bonding [6-10]. Potassium dichromate is a common inorganic chemical reactant, most commonly used as an oxidizing agent in a variety of laboratory and industrial applications. [11-15].

In this study, ulexite as a boron source and potassium dichromate are used as main additives to enhance the properties of organic coatings. On the other hand, methacrylate based surfactant was used to improve the hydrophobicity effect. Taguchi method was applied as an optimization method to find optimum process conditions between the materials. In conclusion, it was seen that the usage of additives affected the decorative glass organic coatings in terms of hydrophobicity, drying, cross-cut, hiding, visuality and thermal properties.

## 2. Experimental

### 2.1 Materials

Ulexite ( $\text{NaCaB}_5\text{O}_6(\text{OH})_6 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) was supplied from Eti Maden Operations Bandirma Boron and Acid Factories-Turkey and surfactant was supplied from DuPont. Potassium dichromate ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ) was used as Sigma-Aldrich, 99.5% of purity.

### 2.2 Methods

Experiments were optimized according to Taguchi Method. Firstly, organic coatings samples were prepared by using ulexite and other additives (Table 1). The additives were taken as basis 100 g water based organic coatings (0-6%, w/w). Potassium dichromate was used as color material. Viscosities of the samples were measured by using viscosimeter (Lamy Rheology) at 250 rpm during 20 seconds and then, samples were pulled off on the glass surface which was disinfected before. After waiting 24 hours, samples on the glass were observed and some quality tests were applied. According to test results, optimum sample was evaluated with comparing optimization program result.

Table 1. Experimental set for preparation of organic coatings as concentration (%) (Level 1: 0%; Level 2: 3%; Level 3: 6%)

No	Ulexite (%)	Clariant (%)	$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ (%)
1	0	0	0
2	0	3	3
3	0	6	6
4	3	0	3
5	3	3	6
6	3	6	0
7	6	0	6
8	6	3	0
9	6	6	3

### 2.3 Applied Tests

Cross-cut test, determination of viscosity using rotary viscometers, evaluating degree of blistering, drying, hiding power and hydrophobicity tests were applied to organic coatings. Also, TG-DTA (Thermal Gravimetric-Differential Thermal Analysis) (Perkin Elmer Instruments Diamond TG/DTA Thermogravimetric/Differential Thermal Analyzer, Technology by SII) and SEM (Scanning Electron Microscope) (Zeiss EVO-LS 10) analysis were applied for characterization. The samples were coated with gold by using SEM coating device (Quorum SC7620) before analysis. TG-DTA and SEM were used to obtain flame retardancy and physical morphologies of organic coatings, respectively.

## 3. Results and Discussion

Taguchi method is a statistical method for orthogonal arrays with a special design by using a small number of experiments to improve the quality of products and to decrease cost in engineering applications [16]. Taguchi method is the traditional approximation used in quality control. However, most previous optimization applications have used only with a single-response problem. The problems which have multi-response have taken only limited attention. There are solutions and proposes in Taguchi method on quality for these problems by using the optimization [17]. In addition, it is known that the experimental sequence is randomized to minimize the effects of uncontrolled parameters by various methods [18]. In Taguchi Method, the experimental results are converted into a signal-to-noise (S/N) ratio. This method utilizes the S/N ratio as a measure of quality parameters deflecting from or nearing to the required values. There are three groups of these quality parameters in this analysis, for instance, One of the lower, the higher or the nominal values is the better. The equation used for calculating of this ratio was presented below [19] as Eq. 1:

"Smaller is the better" equation was given as Eq. (1):

$$S/N (\eta) = (-10 \log_{10} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2) \quad (1)$$

where  $y_i$  is sighted response and  $n$  means the replications.

"Nominal is the best" means that the nominal value and its variation are minimum as Eq. (2):

$$S/N(\eta) = (-10 \log_{10} \frac{\mu^2}{\sigma^2}) \quad (2)$$

where  $\mu$  is mean and  $\sigma$  shows variance.

“Higher the better” means that the larger value is preferred as Eq. (3):

$$S/N(\eta) = (-10 \log_{10} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2}) \quad (3)$$

where  $y_i$  is sighted response and  $n$  shows replications.

Taguchi indicated a standard method to optimize the process characteristics [20]. As a result of the optimization study, it was determined that the quality during the preparation of organic coating was significantly improved in terms of consistency and spreadability. When considered in terms of cost, it was concluded that the cost of additives added to the organic coating mixture was quite low, as well as improving the properties, and the cost was significantly reduced. Viscosity results were used as output in optimization method and the graphs were plotted by using viscosity values [21] (Table 2).

Table 2. Viscosity results for organic coatings

No	Viscosity (mPa.s)
1	1375
2	1241
3	1168
4	1642
5	1269
6	1307
7	1527
8	1225
9	1233

Figure 1 showed a Taguchi graph of the experiments. The optimal value was specified with using this method for 3 characteristics and 3 levels. The optimum blend was Experiment 4 with smaller the better choice in Taguchi method. Because, considering the spreadability of the doped organic coating to the surface, the smallest best model in terms of viscosity was selected in the optimization program. As seen in Figure 1, considering the values where the curves were minimum for each parameter, experiment 2-1-2 (medium-lowest-medium) (3%-0%-3%) corresponded to experiment number 4. Here, parameters A, B and C showed the concentration of ulexite, clariant and  $K_2Cr_2O_7$  in the range of 0% and 6%, respectively. Also, x and y axes showed parameter levels (0-6%) and mean of S/N ratios, respectively. As a result, it was seen that the optimum point was determined by entering the viscosity values of all experiments into Taguchi program as an optimization method.

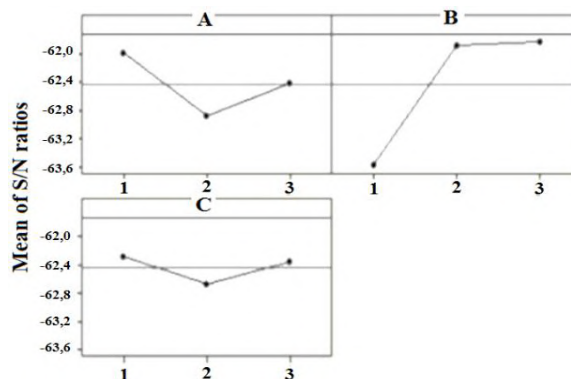


Figure 1. Mean of S/N ratios and parameter level binary graphs of Taguchi method for organic coatings

Wettability is an substantial speciality of solid surfaces from both basic and practical sights. Hydrophobicity test was applied to look at the reflex of the organic coatings against the water. Figure 2 showed the result of hydrophobicity test for Experiment 4. Organic coatings containing hydrophobic material was dripped on dry surface as 0,1 mL and evaluated as visually. As a result, surface had hydrophobic property in dry organic coatings film. Drying test was applied to measure drying quality of the organic coatings. According to standards, each coated test panel was treated in a horizontal position with circulation of air for the specified time under the specified process conditions for drying of organic coatings [22]. For the application of the drying test, firstly organic coatings were applied to the surface for 24 hours and it was tested whether the coatings were dried by rotating the thumb 360 degrees on coating. Figure 3 showed the result of drying test for experiment 4.



Figure 2. Hydrophobicity test result for optimum experiment (No:4)

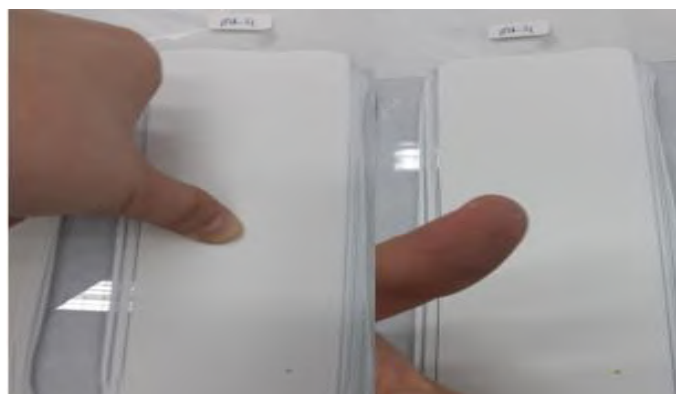


Figure 3. Drying test result for optimum experiment (No:4)



Adhesion relates on interfacial surface energy, geometry and elasticity coefficients [23]. The test named as cross-cut was applied to measure strength of the organic coatings. The film of 1.5-2 cm long 45° angle on the two diagonals and the line was marked on the side edges 135° angle for cross-cut test [24]. Adhesive tape was marked perpendicular to the surface with a jerk. As a result of the tests, scratches edges fully homogeneous, none of the square formed by combing shedding was sighted. Figure 4 showed the result of cross cut test, positively.

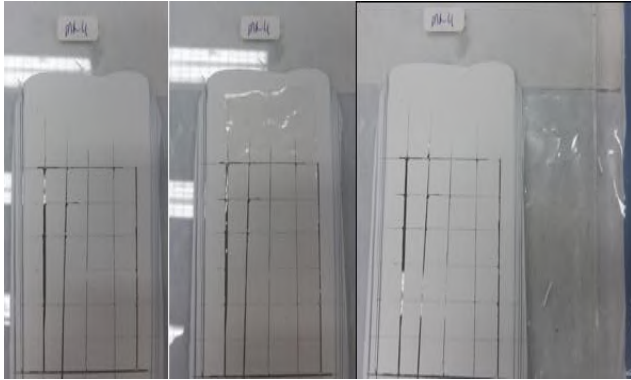


Figure 4. Cross-cut test result for optimum experiment (No:4)

For hiding power test, the special papers were used to measure hiding scale of the organic coatings and degree of blistering [25]. Figure 5 showed the hiding power test and the test result showed that glass organic coatings had high hiding power for applications especially construction industry.



Figure 5. Hiding test result for optimum experiment (No: 4)

Whereas TG only showed changes by mass loss, DTA also measured the changes in material where no mass loss occurs. TG-DTA curves showed that the decomposition of water-based acrylic coatings occurred in such way that in first step the hydration water was lost. After this step, the decomposition of additives was observed. These events appeared as endothermic processes in DTA curve. The samples (6-10 mg) were put into a pan and heated between 20-500°C at 10°C/min under N<sub>2</sub> flow. The thermal profiles were determined under isothermal conditions. TG analysis of as-prepared powder gave 70-97% a sharp weight loss between 20-500°C for organic coatings. After heating, one endothermic peak occurred approximately 400°C. e-ISSN: 2148-2683

This was consistent with the DTG analysis. (Figure 6). As a result, it was seen the process was affected the water loss of crystallization through condensation of B-OH groups C. The results were compatible as seen from the results of different materials used in glass paintings [26-28].

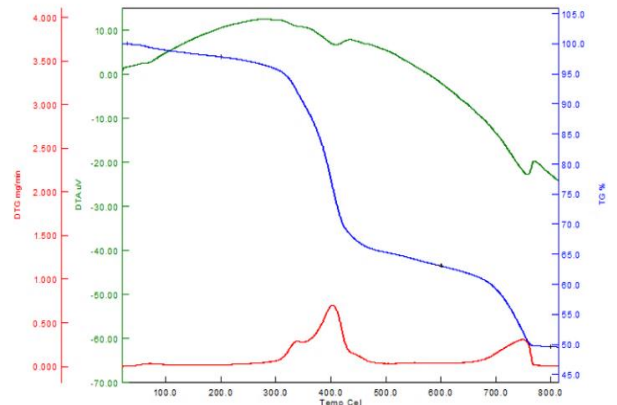


Figure 6. TG-DTA analysis of optimum experiment (No: 4)

SEM results showed that the physical morphology of reference coating was similar with optimum sample of coatings (Figure 7). The size distribution changed because of the agglomerated structure in reference coating. Regular particles were formed in optimum structure. It was seen that regularity was a significant parameter to use acrylic coatings on various surfaces.

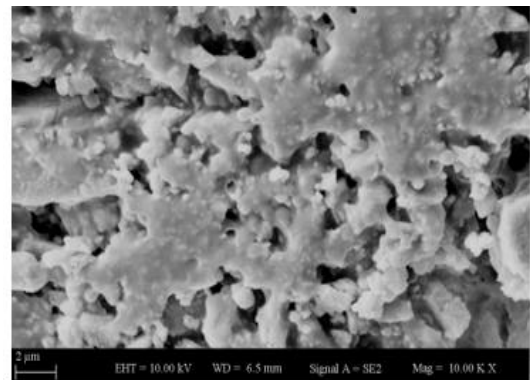


Figure 7. The results of SEM analysis (x10000) for optimum experiment (No: 4)

## 4. Conclusion

As a result, optimum parameters were specified with using Taguchi as an optimization method to increase the coating quality. It had been observed that the optimum parameters corresponded to Experiment 4. The test results (hydrophobicity, cross-cut, hiding power etc.) showed that the additives improved the physical properties of water-based glass organic coatings. TG-DTA and SEM results determined the thermal and morphological properties of coatings, respectively. It was seen that organic coatings prepared with boron-based additives could be evaluated in industrial applications.

## Conflict of Interest

The authors have declared no conflict of interest.

## References

- [1] Pavlyukevich, Y. G. Levitskii, I. A., Mazura, N. V. Use of colemanite in glass fiber production, *Glass and Ceramics*, 66(9-12), (2009), 345-349.
- [2] Woods, W. G. An introduction to boron: history, sources, uses, and chemistry, *Environmental Health Perspectives*, 102, (1994), 5-11.
- [3] Turkez, H. Geyikoglu, F. Tatar, A. Keles, M. S., Kaplan, I. The effects of some boron compounds against heavy metal toxicity in human blood, *Experimental and Toxicologic Pathology*, 64(1-2), (2010), 93-101.
- [4] Muller, F. B., McSweeney, G. Toxicity of borates to turnips, New Zealand, *Journal of Experimental Agriculture*, 4(4), (1976), 451-455.
- [5] [www.etimaden.gov.tr](http://www.etimaden.gov.tr), Accessed Date: 23.07.2020.
- [6] Küçük, Ö., Kocakerim, M. M. Optimization of dissolution of ulexite in water saturated with sulphur dioxide, *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 44(9), (2005), 1005-1011.
- [7] Topaksu, M. Correcher, V. Garcia-Guinea, J., Yüksel, M. Effect of heating rate on the thermoluminescence and thermal properties of natural ulexite, *Applied Radiation and Isotopes*, 95, (2015), 222-225.
- [8] Stoch, L., Waclawska, I. Thermal decomposition of ulexite, *Journal of Thermal Analysis*, 36, (1990), 2045-2054.
- [9] Ruoyu, C. Jun, L. Shuping X., Shiyang, G. Thermochemistry of ulexite, *Thermochimica Acta*, 306(1-2), (1997), 1-5.
- [10] Topaksu, M. Correcher, V., Garcia-Guinea, J. Thermoluminescence sensitivity of ulexite after UV irradiation, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, 349, (2015), 17-23.
- [11] <https://cameochemicals.noaa.gov>, Accessed Date: 23.07.2020.
- [12] <https://echa.europa.eu>, Accessed Date: 23.07.2020.
- [13] <https://www.cdc.gov>, Accessed Date: 23.07.2020.
- [14] <http://www.ilo.org>, Accessed Date: 23.07.2020.
- [15] <https://clinicaltrials.gov>, Accessed Date: 23.07.2020.
- [16] Vankanti, V. K., Ganta, V. Optimization of process parameters in drilling of GFRP composite using Taguchi method, *Journal of Materials Research and Technology*, 3(1), (2014), 35-41.
- [17] Tong, L. I. Su, C. T., Wang, C. H. The optimization of multi-response problems in the Taguchi method, *International Journal of Quality & Reliability Management*, 14(4), (1997), 367-380.
- [18] Kasapoğlu, K. N., Demircan, E., Özgüven, M. G., Özçelik, B. Modeling and optimization of supercritical CO<sub>2</sub> extraction of natural pigments from black rosehip using response surface methodology, *European Journal of Science and Technology*, 20, (2020), 16-23.
- [19] Phadke, S. M. Quality engineering using robust design, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, USA, 1989.
- [20] Kaushik, G., Thakur, I. S. Isolation and characterization of distillery spent wash color reducing bacteria and process optimization by Taguchi approach, *International Biodeterioration & Biodegradation*, 63(4), (2009), 420-426.
- [21] ISO 2884-2. Paints and varnishes-Determination of viscosity using rotary viscometers-Part 2: Disc or ball viscometer operated at a specified speed (2003).
- [22] BS EN ISO 9117. Paints and varnishes-Drying Tests (2009).
- [23] Kendall, K. The adhesion and surface energy of elastic solids, *Journal of Physics D: Applied Physics*, 4, (1971), 1186-1195.
- [24] BS EN ISO 2409. Method of test for paints. Cross-Cut Tests (2013).
- [25] ASTM D714-02. Standard test method for evaluating degree of blistering of paints (2017).
- [26] Guzik, F. Hierarchical zeolites: synthesis and catalytic properties, *Microporous and Mesoporous Materials*, 259, (2018), 33-45.
- [27] Davis, M., Lobo, R. F. Zeolite and molecular sieve synthesis, *Chemistry of Materials*, 4, (1992), 756-768.
- [28] Acaralı, N., Oktay, R. An investigation on acrylic organic coatings including colemanite and zeolite for glass materials, *Celal Bayar University Journal of Science*, 14(3), (2018), 257-260.



# Choosing The Optimum Frequency Estimator Under System Frequency Deviations In Power Systems

Kenan Gençol<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> Hitit University, Faculty of Engineering, Department of Electrical and Electronics Engineering, Çorum, Turkey, (ORCID: 0000-0003-4044-3482), kenangencol@hitit.edu.tr

(First received 26 March 2021 and in final form 20 October 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.904157)

**ATIF/REFERENCE:** Gencol, K. (2021). Choosing The Optimum Frequency Estimator Under System Frequency Deviations In Power Systems. *European Journal of Science and Technology*, (27), 670-675.

## Abstract

Parameter estimation in particular the frequency estimation of sinusoidal signals contaminated with noise is of great importance due to its broad applications in many fields such as communications, instrumentation, medicine and radar. In current power systems, frequency deviations in the nominal system frequency would cause spurious or so-called ghost frequency components in the spectrum. Those types of frequency components complicate the real-time tracking of harmonics and interharmonics present in the system. In this study, in order to minimize the side effects of system frequency deviations the performances of various frequency estimators are evaluated against varying fundamental frequency and noise conditions and the optimum estimator is chosen.

**Keywords:** Power quality, Harmonics, Frequency estimation, Frequency deviation.

## Güç Sistemlerinde Sistem Frekans Kayması Olduğu Durumlarda En Uygun Frekans Kestirici Seçimi

### Öz

Parametre tahmini, özellikle gürültü ile kirlenmiş sinüzoidal sinyallerin frekans tahmini, iletişim, enstrümantasyon, tıp ve radar gibi birçok alandaki geniş uygulamaları nedeniyle büyük önem taşımaktadır. Günümüz güç sistemlerinde, nominal sistem frekansındaki frekans sapmaları, spektrumda sahte veya sözde hayalet frekans bileşenlerine neden olmaktadır. Bu tür frekans bileşenleri, sistemde bulunan harmoniklerin ve araharmoniklerin gerçek zamanlı izlenmesini zorlaştırmaktadır. Bu çalışmada, sistem frekans sapmalarının yan etkilerini en aza indirmek için, çeşitli frekans kestiricilerin performansları, değişen temel frekans ve gürültü koşullarına göre değerlendirilmiş ve en uygun kestirici seçilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Güç kalitesi, Harmonikler, Frekans tahmini, Frekans kayması.

\* Corresponding Author: [kenangencol@hitit.edu.tr](mailto:kenangencol@hitit.edu.tr)

## 1. Introduction

Parameter estimation is the task of estimating parameters such as amplitude, frequency and phase of a signal. Estimating the frequency of signals, especially the frequency of a noise-contaminated sinusoid is one of the important topics in the literature as frequency estimation is continuously being applied in many areas such as communication, instrumentation, medicine and radar [1]. The parameter estimation problem was first formulated in the literature by Slepian [2]. The work that Palmer utilized the discrete Fourier transform (DFT) in frequency estimation is one of the initial studies in this field [3]. The parameter estimation problem of single-tone signals from discrete-time observation data has been addressed by Rife and Boorstyn [4]. In this study, the maximum-likelihood estimators for this problem have been derived and their connections with DFT have been explained. Quinn developed two computationally-simple algorithms compared to previous studies based on the interpolation of the Fourier series coefficients at three distinct points [5,6]. Macleod presented a fast algorithm for maximum-likelihood estimation of the parameters of single and multiple tone signals in their study [7]. In addition, an approach based on quadratic interpolation of DFT data was presented in a study by Jacobsen and Kootsookos [8]. Candan proposed an improved algorithm by involving correction factors upon the quadratic interpolation [9]. Frequency estimation have a wide range of applications in power systems including protection, control, monitoring and measurement [10-12].

In real-time power systems, system frequency deviations can rise up to 1% of its fundamental frequency [13]. This drift in the nominal system frequency causes false (ghost) frequency components that are not present in the true spectrum, making it difficult to monitor and take precautions for harmonics and interharmonics. Harmonics and interharmonics deteriorates power quality by causing distorted supply waveforms, distribution losses and communication interference and hence malfunction protection equipment [14-17]. [15] proposes a saturation detection method based on harmonic distortion for current transformers of 154 kV transmission lines. In [16], a railway system is considered and some proposals are made to solve harmonic related power quality problems encountered in the system. In [17], power quality issues are covered in an induction heating system.

In this study, the performances of various frequency estimators have been assessed against varying system frequency and noise conditions and the optimum estimator is chosen in terms of its accuracy, bias and variance, and computation-time to predict system frequency deviations in the power systems in real-time and minimize their aforementioned side effects.

## 2. Material and Method

In this section, we first give a brief description of the DFT and the effect of the frequency deviation by illustrating with an example. Then, the frequency estimators utilized in this study are given and formulized. In the last subsection, we give the assessment criteria and the flowchart of the method followed in the work.

### 2.1. Discrete Fourier transform (DFT)

Let a continuous-time  $v(t)$  signal be sampled with a sampling rate of  $F_s = 1/T_s$ , so that  $N$  samples per second be taken. The spectrum of the resulting discrete-time signal  $v(n) = v(nT_s)$ ,  $n=0,1,\dots,N-1$  can be obtained by the DFT:

$$V(k) = \sum_{n=0}^{N-1} v(n) e^{-j2\pi kn/N}, \quad k = 0, 1, \dots, N-1 \quad (1)$$

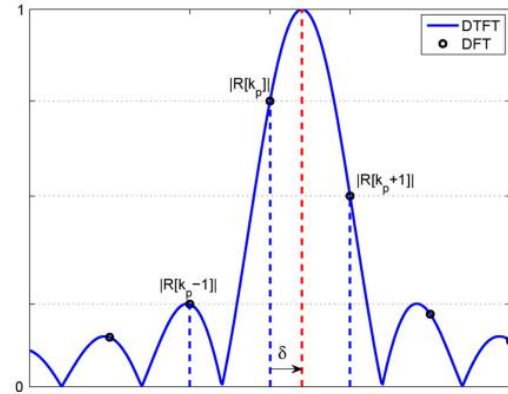


Figure 1. Verification term  $\delta$  used to determine the true maximum value in discrete Fourier transform (adapted from [9])

Here  $V(k)$  are the spectral components of the discrete-time signal  $v(n)$ . In order to avoid aliasing, the sampling rate  $F_s$  should be chosen as at least twice the highest frequency component contained in the signal.

In the DFT, finite-length (length of  $N$ ) samples are taken from the signal. This operation is equivalent to multiplying the signal by a  $N$ -length rectangular window. Since the ideal rectangular window of finite length in the time domain has infinite length spectral components in the form of  $\text{sinc}(\cdot)$  function in the frequency domain, convolution with the signal in the frequency domain causes a phenomenon known as spectral leakage in which the energy in one frequency band spreads into other bands. To reduce this side effect, different window types that have smaller sidelobes than the rectangular window are utilized.

### 2.2. The effect of the frequency deviation

Let us consider a power signal in the form of  $v(t) = A \sin(2\pi f_0 t)$  with a fundamental frequency of  $f_0 = 50$ . According to the IEC 61000-4-7 standard [18], it is recommended to sample this signal with a sampling rate of  $F_s = 3.2$  kHz and to take the DFT by multiplying it by a rectangular window of length 200 ms. According to this standard, the frequency resolution corresponds to  $\Delta f = 1/200 = 5$  Hz. Here, the fundamental frequency is an integer multiple of the frequency resolution. However, when the system fundamental frequency deviates from its nominal value of 50 Hz, this integer multiplicity relationship does not satisfied anymore and spurious (or ghost) frequency components appear in the spectrum that are not present in the spectrum of the actual signal. Therefore, it is very crucial to estimate the fundamental frequency and adjust the duration of the DFT window accordingly in order to get rid of the pseudo-frequency components in the spectrum.

### 2.3. Frequency estimators

In real life applications, sinusoidal signals appear as noisy. Let

$$X = A \cos(w_0 * t) + n(t) \tag{2}$$

be a single-tone sinusoidal signal. Here,  $A$  is the amplitude of the signal,  $w_0$  is the frequency of the signal,  $n(t) \sim \mathcal{N}(0, \sigma^2)$  is a zero mean  $\sigma$  standard deviation additive white Gaussian noise, respectively. Let the DFT of the signal be represented by  $X(k)$ . The aim here is to estimate the frequency of the tone using three DFT samples,  $X_{k-1}$ ,  $X_k$ ,  $X_{k+1}$ . The estimators calculate a verification term  $\delta$  to estimate the true  $k$  value (the maximum value), i.e.,  $k_{\text{real}} = k + \delta$  as shown Fig. 1. For optimality, it should be as accurate as possible, unbiased, and its computation should be fast. Frequency estimators for this purpose are given below:

#### 2.3.1. Quinn's estimator

The estimator is obtained from the interpolation of the Fourier series coefficients corresponding to three DFT points:

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= \text{Re}(X_{k-1} / X_k) \\ \alpha_2 &= \text{Re}(X_{k+1} / X_k) \\ \delta_1 &= \alpha_1 / (1 - \alpha_1) \\ \delta_2 &= -\alpha_2 / (1 - \alpha_2) \end{aligned} \tag{3}$$

If  $\delta_1 > 0$  &  $\delta_2 > 0$   $\delta = \delta_2$  Else  $\delta = \delta_1$

#### 2.3.2. Quinn's second estimator

This is an improvement upon the Quinn's first estimator. Instead of using comparisons of  $\delta_1$  and  $\delta_2$ , two factors  $\gamma_1$  and  $\gamma_2$  are calculated and  $\delta$  is found accordingly.

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= \text{Re}(X_{k-1} / X_k) \\ \alpha_2 &= \text{Re}(X_{k+1} / X_k) \\ \delta_1 &= \alpha_1 / (1 - \alpha_1) \\ \delta_2 &= \alpha_2 / (1 - \alpha_2) \end{aligned}$$

$$\gamma_1 = \frac{1}{4} \log(3\alpha_1^4 + 6\alpha_1^2 + 1) - \frac{\sqrt{6}}{24} \log \frac{\alpha_1^2 + 1 - \sqrt{2/3}}{\alpha_1^2 + 1 + \sqrt{2/3}} \tag{4}$$

$$\gamma_2 = \frac{1}{4} \log(3\alpha_2^4 + 6\alpha_2^2 + 1) - \frac{\sqrt{6}}{24} \log \frac{\alpha_2^2 + 1 - \sqrt{2/3}}{\alpha_2^2 + 1 + \sqrt{2/3}}$$

$$\delta = \frac{\delta_1 + \delta_2}{2} + \gamma_2 - \gamma_1$$

#### 2.3.3. Macleod's estimator

The estimator calculates an offset value by forming a three-coefficient vector with phase verification and utilizes it in the verification term:

$$R = \text{Re}[(X_{k-1} \cdot X_k^*) (X_k \cdot X_k^*) (X_{k+1} \cdot X_k^*)] \tag{5}$$

$$\gamma = \frac{R(1) - R(3)}{2R(2) + R(1) + R(3)}$$

$$\delta = \left( \left( \sqrt{1 + 8\gamma^2} \right) - 1 \right) / 4\gamma$$

#### 2.3.4. Candan's estimator

The estimator is an improvement upon the Jacobsen's quadratic interpolation estimation. Quadratic estimator takes two DFT

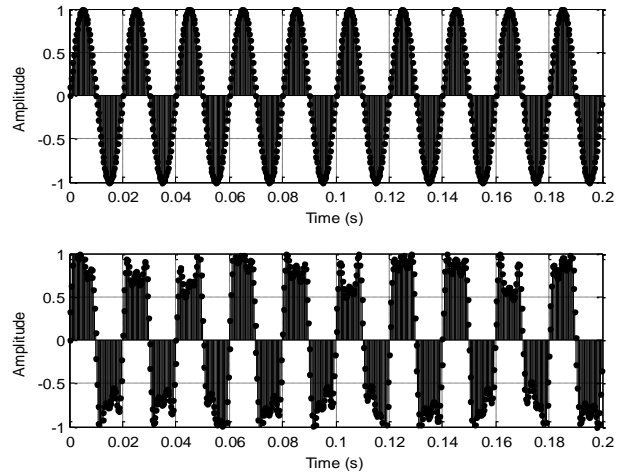


Figure 2. Pure sinusoidal signal and the waveform of the signal in (6) with harmonics and interharmonics in one DFT window period points around the spectral point that has maximum amplitude and calculates the verification term with quadratic interpolation:

$$\delta = \text{Re} \left[ \frac{(X_{k-1} - X_{k+1})}{(2X_k - X_{k-1} - X_{k+1})} \right] \tag{6}$$

Candan's estimator calculates two bias correction factors upon the quadratic estimate:

$$\delta_c = \delta \cdot \frac{\tan \pi/N}{\pi/N} \tag{7}$$

$$\delta'_c = \frac{\tan^{-1}(\delta_c \cdot \pi/N)}{\pi/N} \tag{8}$$

### 2.4. Assessment criteria and the method

In order to choose the optimum frequency estimator in the case of system frequency deviations and different noise conditions, we evaluate the aforementioned estimators based on their accuracy, estimator's bias and variance and computation time. The bias and variance of any estimator are given as

$$\text{Bias}(\omega) = \mathcal{E}(\omega) - \omega \tag{9}$$

and

$$\text{Var}(\omega) = \mathcal{E}[(\omega - \text{Bias}(\omega))^2] \tag{10}$$

respectively, where  $\mathcal{E}(\omega)$  is the expectation operator (true nominal frequency) and  $\omega$  is the estimated frequency. The flowchart of the method followed in this work is given Fig. 3.

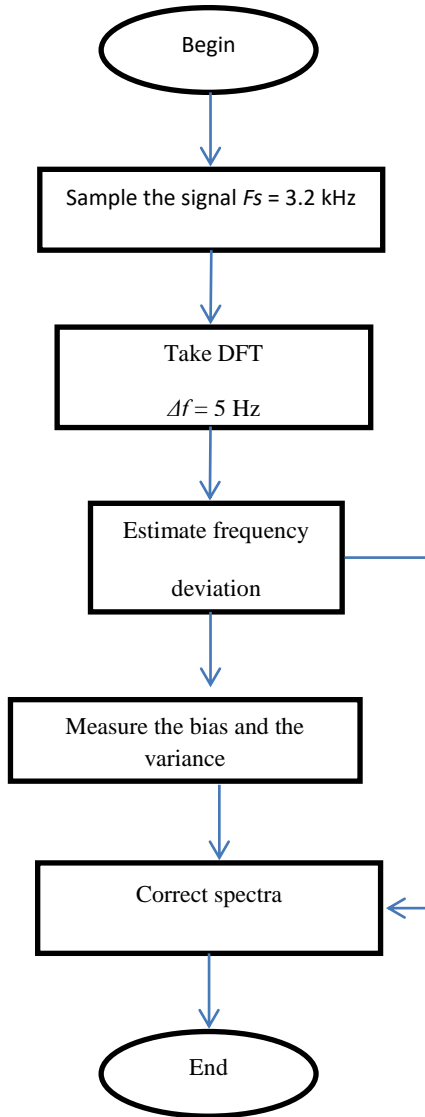


Figure 3. The flowchart of the method

### 3. Results and Discussion

#### 3.1. The assessment of accuracy and robustness

A synthesized power signal is used in the assessment of the accuracy and robustness of the estimation methods [19]. The signal is composed of the third and fifth harmonics, together

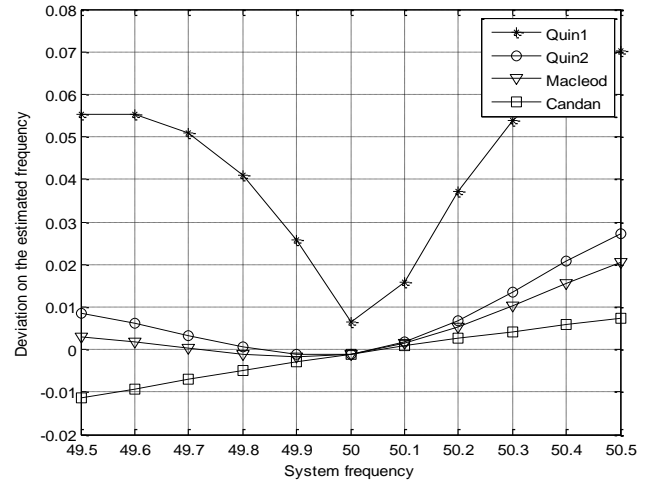


Figure 4. Deviations in the fundamental frequency predicted by estimators when system frequency varies in a noiseless environment

Table 1. Average bias and variances of the estimation methods in a noise-free environment

Estimation method	Bias	Variance
Quin1	0.0433	0.0474
Candan	-0.0014	0.0061
Quin2	0.0079	0.0118
Macleod	0.0049	0.0086

with the signal fundamental component and an interharmonic which is an integer-multiple of the frequency resolution and another interharmonic which is a rational-multiple of the frequency resolution:

$$v(t) = \sin(2\pi f_0 t) + 0.35\sin(2\pi 3f_0 t) + 0.2\sin(2\pi 5f_0 t) + 0.15 \sin(2\pi 65t) + 0.1 \sin(2\pi 83t) \quad (11)$$

Here, the odd harmonics represent the ideal symmetrical waveform, while interharmonics represent contamination in the power line. The waveform and amplitude spectrum of the signal in the time domain is shown in Fig. 2.

Fig. 4 shows the deviations in the fundamental frequency value that the Quin1, Quin2, Candan and Macleod frequency estimators estimate when the system frequency shifts from 50 Hz to 49.5 Hz and 50.5 Hz (1%). In such a case, the Quin1 estimator has the highest deviation and hence the lowest performance. In cases where the system frequency decreases below the nominal system frequency of 50 Hz, the best estimator performance is obtained by the Macleod estimator. In cases where the system frequency exceeds 50 Hz nominal system frequency, the best estimator performance is obtained by the Candan estimator.

Tab. 1 shows the average bias and variance values of the estimation methods in a noiseless environment. When the results are examined, it is observed that the estimator with the lowest bias and variance value is the Candan estimator.

Candan and Macleod estimators that perform best in noiseless environment are examined in varying noise from 20 dB to 0 dB SNR. The tests were repeated 10000 times to reflect the varying noise statistics as much as possible for such environment. The average bias and variance results of these estimators are given in

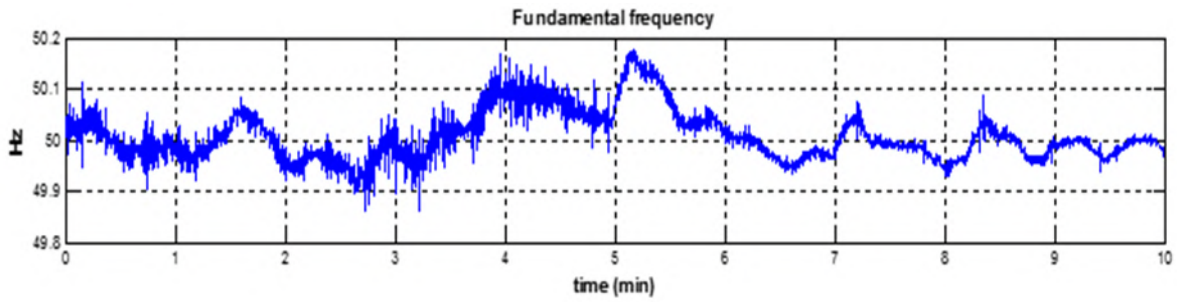


Figure 7. Time-varying frequency characteristic of the EAF field signal

Table 2. Average bias and variance values of Candan And Macleod estimation methods in case of noise

Noise	0 dB		10 dB		20 dB	
	Bias	Variance	Bias	Variance	Bias	Variance
Candan	-0.0016	0.1597	-0.0015	0.0503	-0.0014	0.0160
Macleod	0.0048	0.1571	0.0048	0.0500	0.0050	0.0167

Tab. 2. If the results in the table are analyzed, although the average variances of both estimators are almost equal, it is observed that the bias values of the Candan estimator are considerably lower than that of the Macleod estimator and this reveals that it is more robust against noise.

The performance of the corresponding estimators in 0 dB SNR noise condition (maximum noise) is shown in Fig.5. It is notable that still Macleod estimator estimates the frequency more accurately below 50 Hz.

Table 3. Average computation times of the estimation methods in one DFT period

Estimation Method	Average computation time in one DFT period ( $\mu$ s)
Candan	72.009
Quin1	127.835
Quin2	68.308
Macleod	60.098

In the case the system frequency is 50 Hz,  $N = 640$  samples are ideally taken with a 200 ms window with a sampling rate of  $F_s = 3.2$  kHz. In cases where the system frequency deviates from its nominal value, a new  $N$  value should be calculated. Here, the original and corrected spectra with the frequency predicted for the frequency of  $f = 50.5$  Hz, where the variance is maximum (worst case), are given in Fig. 6. As it can be seen, the ghost frequencies formed around the harmonics are removed except for the frequency band wherein the interharmonics are located.

### 3.2. The assessment of computational efficiency

In the assessment of the computational efficiency of the estimation methods, field data which has a time varying fundamental frequency characteristic obtained from electric arc furnace (EAF) plant is employed [13].

Field signal is reconstructed by using a 200 ms DFT window with a sampling frequency  $F_s = 3.2$  KHz as proposed by IEC standard [18]. The fundamental frequency characteristic of the signal is given in Fig. 7. The computation times of the estimators are calculated against varying frequency in the MATLAB R2018b environment with the Intel Core i5 based 8 GB RAM computer and the average computation times are presented in Tab. 3. As it can be seen from the table, the estimator with the lowest average computation time is the Macleod estimator. Macleod estimator is approximately 12  $\mu$ s faster than Candan estimator in computing the system's fundamental frequency per one DFT period, which is a desired property for real-time power systems.

## 4. Conclusions

In this study, in order to minimize the side effects of frequency components called fake or ghost components that occur in the spectrum in the cases of system frequency

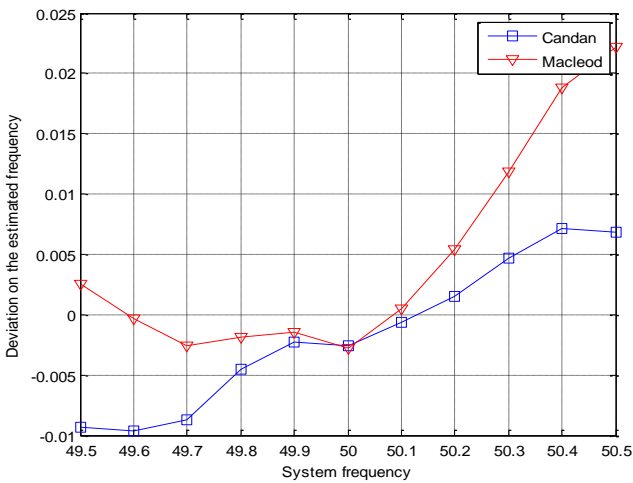


Figure 5. Deviations in the fundamental frequency predicted by the Candan and Macleod estimators when the system frequency varies in case of maximum noise (0 dB)

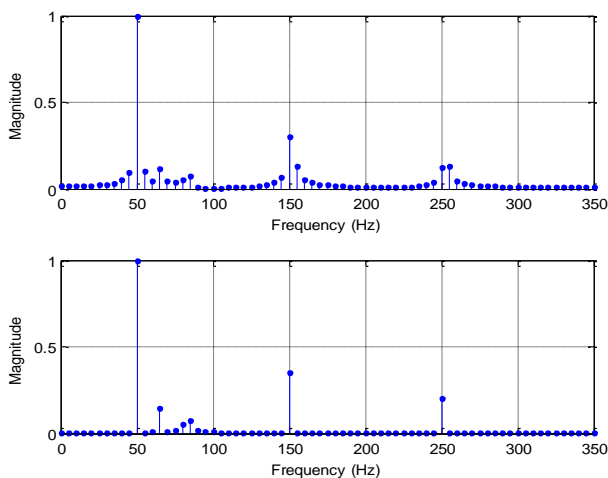


Figure 6. The ghost frequency components seen at the system frequency of  $f = 50.5$  Hz and the correction of the spectrum after determining the frequency deviation

deviations, it is aimed to choose the optimum frequency estimator. It has been found that in noiseless situations Macleod's estimator has the lowest frequency estimation deviation below the nominal system frequency whereas Candan's estimator has the lowest above of the nominal system frequency. In noisy conditions, the estimator with the lowest bias value was found to be the Candan's estimator which reveals its robustness over Macleod's estimator. But, it is also remarkable that Macleod's frequency deviation is lower than Candan's and still performs better than Candan's estimator below the nominal system frequency. When the computation times of the estimators were examined, it is seen that Macleod estimator have the lowest computation time. When both accuracy, robustness and calculation times are assessed, it is concluded that Macleod estimator can be regarded as the most suitable estimator for real-time monitoring.

## 5. Acknowledge

The authors would like to thank Prof. O. Salor-Durna, Department of Electrical and Electronics Engineering, Gazi University, Ankara, Turkey for providing field data used in the experimental work.

## References

- [1] Kay, S. M. (1988). *Modern spectral estimation: theory and application*. Pearson Education India.
- [2] Slepian, D. (1954). Estimation of signal parameters in the presence of noise. *Transactions of the IRE Professional Group on Information Theory*, 3(3), 68-89.
- [3] Palmer, L. (1974). Coarse frequency estimation using the discrete Fourier transform (Corresp.). *IEEE Transactions on Information Theory*, 20(1), 104-109.
- [4] Rife, D. C. B. P., & Boorstyn, R. (1974). Single tone parameter estimation from discrete-time observations. *IEEE Transactions on information theory*, 20(5), 591-598.
- [5] Quinn, B. G. (1994). Estimating frequency by interpolation using Fourier coefficients. *IEEE transactions on Signal Processing*, 42(5), 1264-1268.
- [6] Quinn, B. G. (1997). Estimation of frequency, amplitude, and phase from the DFT of a time series. *IEEE transactions on Signal Processing*, 45(3), 814-817.
- [7] Macleod, M. D. (1998). Fast nearly ML estimation of the parameters of real or complex single tones or resolved multiple tones. *IEEE Transactions on Signal processing*, 46(1), 141-148.
- [8] Jacobsen, E., & Kootsookos, P. (2007). Fast, accurate frequency estimators [DSP Tips & Tricks]. *IEEE Signal Processing Magazine*, 24(3), 123-125.
- [9] Candan, Ç. (2013). Analysis and further improvement of fine resolution frequency estimation method from three DFT samples. *IEEE Signal Processing Letters*, 20(9), 913-916.
- [10] López, A., Montañó, J. C., Castilla, M., Gutierrez, J., Borrás, M. D., & Bravo, J. C. (2008). Power system frequency measurement under nonstationary situations. *IEEE Transactions on power delivery*, 23(2), 562-567.
- [11] Uzunoglu, C , Çekli, S , Uğur, M . (2011). Adaptive Frequency Estimation of Distorted Power System Signals Using Modified Extended Kalman Filter . *Gazi University Journal of Science* , 24 (1) , 85-89 .
- [12] Markham, P., Zhang, Y., Liu, Y., Stovall, J., Young, M., Gracia, J., & King, T. (2012, October). Wide-area power system frequency measurement applications. In *2012 Future of Instrumentation International Workshop (FIIW) Proceedings* (pp. 1-4). IEEE.
- [13] Salor, Ö. (2009). Spectral correction-based method for interharmonics analysis of power signals with fundamental frequency deviation. *Electric power systems research*, 79(7), 1025-1031.
- [14] Kalair, A., Abas, N., Kalair, A. R., Saleem, Z., & Khan, N. (2017). Review of harmonic analysis, modeling and mitigation techniques. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 78, 1152-1187.
- [15] Akdağ, O , Yeroğlu, C . (2018). 154 kV İletim Hatlarındaki Akım Transformörlerinde Simülasyon Modeli ile Harmonik Bozulmaya Dayalı Doygunluk Algılama Yöntemi . *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi* , (14) , 353-363.
- [16] Fidan, P , Akdemir, H , Kekezoğlu, B , Adıyıl, İ . (2018). İstanbul'da Bir Raylı Sistem Tesisi'ne Ait Harmonik Analizi ve Çözüm Önerileri . *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi* , (14) , 215-221.
- [17] Gökozan, H . (2021). The Effect of an Induction Heating System on Power Quality Parameters . *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi* , (21) , 25-30.
- [18] Compatibility, E. General Guide on Harmonics and Interharmonics Measurements and Instrumentation. *IEC Standard*, 61000-4.
- [19] Lin, H. C. (2011). Power harmonics and interharmonics measurement using recursive group-harmonic power minimizing algorithm. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 59(2), 1184-1193.





# Kentsel Koruma Politikaları Kapsamında Isparta Tarihi Kent Merkezi Kimliğinin Sürdürülebilirliği

Eda Çelik<sup>1\*</sup>, Ali Türk<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Süleyman Demirel Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Şehir ve Bölge Planlama Bölümü, Isparta, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-7121-9945), [edacelik1691@gmail.com](mailto:edacelik1691@gmail.com)

<sup>2</sup> Süleyman Demirel Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Şehir ve Bölge Planlama Bölümü, Isparta, Türkiye (ORCID: 0000-0002-9934-0915), [aliturk@sdu.edu.tr](mailto:aliturk@sdu.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 30 Mart 2021 ve Kabul Tarihi 20 Eylül 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.906611)

**ATIF/REFERENCE:** Çelik, E., Türk, A. (2021). Kentsel Koruma Politikaları Kapsamında Isparta Tarihi Kent Merkezi Kimliğinin Sürdürülebilirliği. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (27), 676-685.

## Öz

Hızlı kentleşme, kentlerin tarih boyunca edinmiş oldukları fiziksel, mekânsal ve kültürel birikimlerin; başka bir ifadeyle kimliklerinin zarar görmesine neden olmaktadır. Yaşanan bu hızlı ve çarpık kentleşme sonucu olarak kentler kültürel mirasın göz ardı edildiği ve kent kimliğinin olumsuz olarak etkilendiği bir sürece girmiştir. Kentler bu süreçte özgünlüklerini kaybederek tek tipleşen kent formları haline gelmiştir. Kentsel kimliğin sürdürülebilirliği yasal düzenlemelerle güvence altına alınmadığında gelecek nesillere aktarılamamaktadır. Bu sebeple kentlerin birbirinden ayırt edilmesine imkân veren kentsel kimliğin sürdürülebilirliğinin sağlanmasında koruma politikalarının rolü önem arz etmektedir. Bu çalışmada kentsel kimliğin sürdürülebilirliğinde kentsel koruma politikalarının rolünü araştırmak amaçlanmıştır. Bu kapsamda Isparta Kent'inin tarihi kent merkezinde yer alan konut dışı sivil mimari yapılarının ve ticari bölgenin bulunduğu tarihi sit alanı ile kentsel sit alanı örneklem olarak belirlenmiştir. Söz konusu alandaki mevcut durum; kat adedi, tarihsel dönemleme, tarihi değerlilik analizi gibi nicel yöntemlerle incelenerek tarihi kent merkezinin kentin kimliğine olan etkisi ve bu kimliğin sürdürülebilirliğinde koruma politikalarının rolü ortaya konulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Kentsel Kimlik, Sürdürülebilirlik, Kentsel Koruma, Isparta Tarihi Kent Merkezi.

## Sustainability of Isparta Historical City Center Identity within the Scope of Urban Protection Policies

### Abstract

Rapid urbanization causes the destruction of their physical, spatial and cultural accumulation of cities throughout history, in other words their identity. As a result of this rapid and distorted urbanization, cities have entered a period in which cultural heritage is ignored and urban identity is negatively affected. Cities have lost their originality in this process and become uniform urban forms. of urban identity cannot be transferred to future generations when it is not guaranteed by legal regulations. For this reason, the role of conservation policies is important in ensuring the sustainability of urban identity that enables the differentiation of cities. aim of this study is to investigate the role of urban conservation policies in sustainability of urban identity. In this context, the historical site area of Isparta City is located in the historical city center and the commercial area of the non-residential civil architecture and urban site area is determined as an example. The effect of the city's identity of the historical city center examined quantitative methods such as number of floors, historical period, historical value analysis and the role of protection policies in the sustainability of this identity has been revealed.

**Keywords:** Urban Identity, Sustainability, Urban Conservation, Isparta Old Town.

\* Sorumlu Yazar: [edacelik1691@gmail.com](mailto:edacelik1691@gmail.com)

## 1. Giriş

Sanayi devrimi ile beraber kent ve ilişki içerisinde olduğu yakın çevresinde iş olanakları artmış ve bu durum kentlere göçü artırmıştır. Artan göç nihayetinde kentlerin nüfusunda yoğun bir artış meydana gelmiş ve kentsel alandaki ekonomik, çevresel, kültürel ve toplumsal değerlerin tüketimiyle karşı karşıya kalmıştır. Rekabetin de büyük etkisi ile birlikte kentler yaşanan hızlı ve çarpık kentleşme sonucunda kültürel mirasın göz ardı edildiği ve kent kimliğinin olumsuz olarak etkilendiği bir sürece girmiştir. Kentler bu süreçte özgünlüklerini kaybederek tek tipleşen kent formları haline gelmiştir.

Kentin sahip olduğu kimlik günümüz şartlarıyla biçim olarak gelecek nesillere ulaştırılmalıdır. Bu durum da fiziksel ve sosyal yapıdaki süreklilik ile gerçekleştirilebilir. Bu kapsamda koruma planlarında kent kimliğini önemseyen unsurlara yer verme kent kimliğinin korunup devam ettirilmesinde önemli bir rol oynayacaktır. Kent kimliğinin muhafaza edilmesi, tarihi değere sahip olan kentsel dokunun yeniden canlandırılması, fiziki, sosyal ve ekonomik mekânların bir arada düşünülmesi ve planlanması şartı çağdaş koruma anlayışının çerçevesini oluşturmaktadır.

Kentlerin kendine has özellikleri günümüzde onları birbirinden ayırt edebilmek için önemini koruyan unsurlardır. Küreselleşmenin de etkisiyle mekânsal ve kültürel olarak kentler birbirine benzemekte, bu durum da sahip oldukları ayırt edici özellikleri önemli kılmaktadır (Paul, 2004, s. 572). Tüm dünyanın etkilendiği bu değişim ve dönüşüm süreci ile birlikte kent kimliğine dair bize fikir veren tarihi kent merkezleri kendi haline bırakılmış ve bu durum da dokularında ve karakterlerinde geri dönüşü olmayan kayıplara yol açmıştır (Clammer, 2003). Zaman içerisinde değişime uğrayan kent formları içerisinde barındırdıkları farklı değer ve sistemlerin çatışmaları sonucu meydana gelir ve bu farklılar kentin kimliğini oluşturur (Kong, 2000: 354 Kroft, 1996: 247-263).

Kentlerin tasvir edilip diğer kentlerden ayırt edilmesine yardımcı olan özelliklerin bütünü kent kimliğini oluşturmaktadır. Kentin kimliğinin belirleyicisi ise tüm bu niteliklerin etkileşiminden meydana gelen bütünün karakteristiğidir (Gündüz ve Taner, 2001). Tekeli'nin de ifade ettiği üzere, bir mekânda yaşayan kişiler o mekâna değer yükleyip, oraya bağlandıklarında, yükledikleri bu değerler uğruna bazı fedakârlık yapmaya başladıklarında, o mekân bir kimliğe sahip olacaktır. Bir başka ifade ile kentin kimliği, üzerinde yaşayan toplumlar tarafından inşa edilir (Tekeli, 1991).

Erkmen (1990), her insan ve yapının bir kimliğe sahip olduğu gibi kentlerin de bir kimliğinin, kentleri o kent yapan niteliklerinin var olduğunu ve olması gerektiğini ifade etmiştir. Kentlerin birbirinden ayırt edilmesine yarayan en önemli özellik, zamanla kazandıkları kendilerine has karakterleridir. Bu karakter, yer aldığı ve doğduğu coğrafyadan, içerisinde yaşadığı insanlara kadar uzanan bir sistemde sürekli değişip gelişim göstererek kentin etiketini oluşturmaktadır (Şahin, 2010 s.153).

Bir kentin kimliğinin oluşumunda o kentin mimarisi büyük öneme sahiptir. Dönemlerin mimari anlayışları, yapı malzemeleri, toplumun sosyo-kültürel, fiziksel ve ekonomik yapısı, kullanıcı istekleri ve tasarlayanın bakış açısı kent

kimliğini etkilemektedir. Mimari üsluba bağlı olarak kentlerin kimliğinin oluşumunda tasarımcının rolü oldukça büyüktür (İlgar, 2008 s.10). Lynch'e göre (2017) "Bir kenti başkalaştırmaya yardımcı olan nitelikler ve kente özgü olduğu tartışma götürmeyen öğeler" olarak tanımlanan kent kimliği, kentin yer aldığı bölgeye ve üzerinde yaşayanların kültürel ve sosyal özelliklerine göre farklı belirleyiciler ile şekillenmektedir. Bu belirleyiciler sadece kentin yer aldığı bölgeyle sınırlı kalmamaktadır. Kentin sahip olduğu doğal çevre özellikleri ve bu özellikler doğrultusunda oluşan yapay çevre özellikleri, tarihi, kültürel ve ekonomik yapının oluşturduğu sosyo kültürel özellikler de bu belirleyiciler arasındadır. Kentin kimliğini oluşturan bu belirleyicilerin hepsi birbiriyle etkileşim durumundadır (Jacops, 2011). Tüm bu etkileşim içindeki bileşenler ve onların meydana getirdiği kimlik geçmişten günümüze kentin karakterine dair kullanıcılara bilgiler vermektedir. Bu sebeple kentsel kimliğin sürdürülebilirliği geçmiş ve gelecek arasında kente dair bilgiler sunmasından ötürü önem arz etmektedir.

Gelişmiş Batı Ülkeleri'nin birçoğunda ülke yönetiminin, kent planlama sistemine yaklaşımında üzerinde durduğu anahtar kavram olan sürdürülebilirlik; çevresel, toplumsal ve ekonomik ihtiyaçların, gelecekteki kuşakların yaşam şartlarını zarara uğratmadan karşılanmasını amaçlayan bir dünya görüşü olarak kabul görmüştür. Sürdürülebilirlik gelişmiş bir çevrenin amaçlarına ulaşmaya yönelen, küresel politik alanda şekillenen bir olgu olup, yerine getirilmesi gereken bir şarttır (Oktay, 2007 s.37). Dolayısıyla kentin kimliğinin sürdürülebilir olması aynı dünya görüşünde kabul görmektedir.

Çalışmanın konusu, mekânsal ve işlevsel açıdan kent kurgusu bağlamında bütünlük-süreklilik gösteren 2 (iki) farklı karakteristik ve statü gösteren Isparta tarihi kent merkezi olarak belirlenmiştir. Birincisi, Atatürk Parkı, Bedesten Çarşısı, Valilik, Bey Hamamı ve Ulu Cami'nin de içinde yer kamusal ve anıtsal yapılardan oluşan Tarihi Sit Alanıdır. İkincisi, Üzüm Pazarı olarak tarif edilen Atatürk Bulvarı ile Mimar Sinan Caddesi kesişiminde yer alan ticari yapıların oluşturduğu "Kentsel Sit Alanıdır. Üçüncüsü ise Üzüm pazarı olarak tanımlanan bölgede yer alan "Korunacak Sokak" statüsündeki koruma alanıdır. Bu farklı statüde olmakla birlikte tarihsel, mekânsal ve işlevsel açıdan bütünlük-süreklilik gösteren koruma alanları, Antalya Kültür ve Tabiat Varlıkları Koruma Bölge Kurulu'nun 21.01.2013 tarih ve 1350 sayılı kararı ile Isparta Tarihi Kent Merkezi olarak ilan edilmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. Çalışma Konusu Alan; Isparta Tarihi Kent Merkezi

Bu çerçevede, çalışmanın amacı, farklı statüdeki koruma alanlarından oluşan Isparta tarihi kent merkezinin kendine özgü

kimlik değerlerinin, mevcut durumunun incelenerek, yapısal ve fiziksel niteliklere ilişkin haritalar üretilmesine dayanan morfolojik analizler yardımıyla kentin kimliğine olan etkisinin sorgulanarak, kent kimliğinin sürdürülebilir kılınmasına yönelik öneriler sunulmasıdır.

## 2. Materyal ve Metod

### 2.1. Konu–Kapsam ve Yöntem

Çalışma alanının temel gerekçe; farklı statüdeki koruma alanları (tarihi sit, kentsel sit, korunacak sokak gibi) bulunması bağlamında mekânsal ve işlevsel açıdan kent kimliğine katkı koyan simgesel kamusal ve anıtsal yapılardan oluşmasıdır.

Çalışmanın kapsamı; Isparta tarihi kent merkezinde anıtsal ve kamusal mimari özelliğe sahip yapıların yer aldığı “tarihi sit alanı” ile geleneksel çarşı niteliğinde olan ticari aktivitelerin hala devam ettirildiği “kentsel sit alanı” ile “korunacak sokak” dokuları oluşturmaktadır. Bu çerçevede, çalışma alanı ve yakın çevresi kentsel kimlik bağlamında bütün olarak değerlendirilmiş, bu bütünlüğü bozan yapılaşmaların hangi tarihten itibaren, nasıl bozulmaya uğradığı, alanın mevcut durumuna ilişkin morfolojik analizlerle saptanmaya çalışılmıştır. Bu doğrultuda, çalışma alanına ilişkin “kent kimliği” ve “koruma” birlikteliğini esas alan akademik–bilimsel yayınlar incelenmiş 1/1.000 ölçekle hazırlanan analiz haritalarında yapıların mimari ve tarihsel değerlilik özellikleri ile mevcut durum analizi yapılmıştır.

Yöntem kapsamında öncelikle çalışma alanı ve yakın çevresine ilişkin tespit ve gözlem–fotoğraflama içerikli saha araştırmaları yapılmıştır. Sonrasında, elde edilen veriler Netcad, Photoshop ve Office programlarıyla bilgisayar ortamında haritalar üzerine aktararak değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmeler, onaylı hâlihazır haritalar üzerinde mülkiyet durumu, kat yüksekliği, yapıım tekniği ve malzemesi, yapı kullanım biçimleri, yapısal durum, sit alanı ve tescilli yapılar, korunmuşluk durumu, tarihsel dönemleme ve tarihsel değerlilik analizlerinden oluşmaktadır.

Kaynak araştırması kapsamında ise üniversite kütüphanelerinden ilgili tezlerin sorgulanması, kitap ve makalelerin araştırılmasından oluşan literatür taraması yapılmıştır. Devamla, alanın hukuksal niteliği bağlamında ilgili kanun, yönetmelik ve koruma kararları irdelenmiştir. Bu noktada, Antalya Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Bölge Kurulu Kararları, Isparta Belediyesi’nde tarihi kent merkezine yönelik kentsel koruma ve yenileme çalışmaları incelenmiştir.

### 2.1. Çalışma Alanının Karakteristiği

#### 2.2.1. Planlama Çalışmaları ve Koruma Kararları

Kentin planlama süreci irdelenirse, mekânsal–işlevsel kurallara bağlanma gerekliliğinin, 1848 senesinde ortaya çıktığı söylenebilir. Bu çerçevede, 1848 tarihli Ebniye Nizamnamesi kapsamında öngörülen mekânsal düzenleme ve kuralların başta İstanbul olmak üzere Anadolu kentlerinde uygulanmaya başladığı görülmektedir. Ancak, imar planı çalışmalarının esas itibarıyla Cumhuriyet döneminde gündeme alındığı görülmektedir. Nitekim kentin ilk imar planı Prof. Öelsner tarafından 1944 yılında hazırlanmıştır. 1938–1944 dönemini kapsayan altı yıllık süreçte hazırlanan imar planı, kentin

Cumhuriyet dönemindeki mekânsal gelişimini etkileyen–yönlendiren önemli bir unsur olmuştur.

Plan kapsamında ticaretin gerçekleştirildiği merkez bölgesi ile merkezi çevreleyen konut bölgesinden oluşan tarihi çevrenin korunduğu, kentsel gelişmenin ise kuzeyde İstasyon bölgesine yönlendirildiği görülmektedir. (Öelsner, 1942, s.1780). Dolayısıyla, Isparta tarihi kent merkezinin korunması yönelik ilk çabanın, 1944 tarihli ilk imar planı ile başladığını söylemek mümkündür (Şekil 2).



Şekil 2. Isparta Tarihi Kent Merkezi, İlk İmar Planı (1944)

Tarihi kent merkezinin korunmasına yönelik ilk yasal düzenleme ise 1977 yılında Gayrimenkul Eski Eserler Anıtlar Yüksek Kurulu Kararı ile tarihi kent merkezi ve yakın çevresinin 1. ve 2. Derece Sit Alanı olarak ilan edilmesi olmuştur. Ancak, 1984 yılında koruma statüsünün kaldırılması, tarih kent merkezinin mekânsal ve işlevsel kimliğinin korunması konusunda önemli sorunlar ortaya çıkarmıştır. Bu süreçte, tarihi kent merkezi ve yakın çevresinin çok katlı yapılaşma talepleri nedeniyle özgün kimliğinin bozulma riski ile karşı karşıya kaldığı görülmektedir. Nitekim 1990’lardaki çevre düzenleme çalışmalarında Bedesten ve Valilik Binası arasında kalan alan yıkılarak tanımsız bir hale getirilirken, Kaymak Kapı Meydanı’nın batısında yer alan küçük dükkân ve hanlar yıkılarak, Belediye İş Hanı inşa edilmesi ile geleneksel tarihsel dokular yitirilmiştir.

Bu süreç sonunda, Atatürk Parkı, Bedesten Çarşısı, Valilik, Bey Hamamı ve Ulu Cami’nin içinde bulunduğu alan Antalya Kültür ve Tabiat Varlıkları Koruma Kurulu’nun 25.09.1990 gün ve 901 sayılı kararı ile “Tarihi Sit Alanı”, Atatürk Bulvarı ile Mimar Sinan Caddesi kesişiminde yer alan ticari yapıların oluşturduğu bölge ise Antalya Kültür ve Tabiat Varlıkları Koruma Kurulu’nun 28.07.1992 gün ve 1495 sayılı kararı ile “Kentsel Sit Alanı” olarak ilan edilmiştir. Devam eden süreçte, Üzüm Pazarı ticari yapıların oluşturduğu bölge ise Antalya Kültür ve Tabiat Varlıkları Koruma Kurulu’nun 21.01.2013 tarih ve 1350 sayılı ile “Korunacak Sokak” olarak belirlenmiştir.

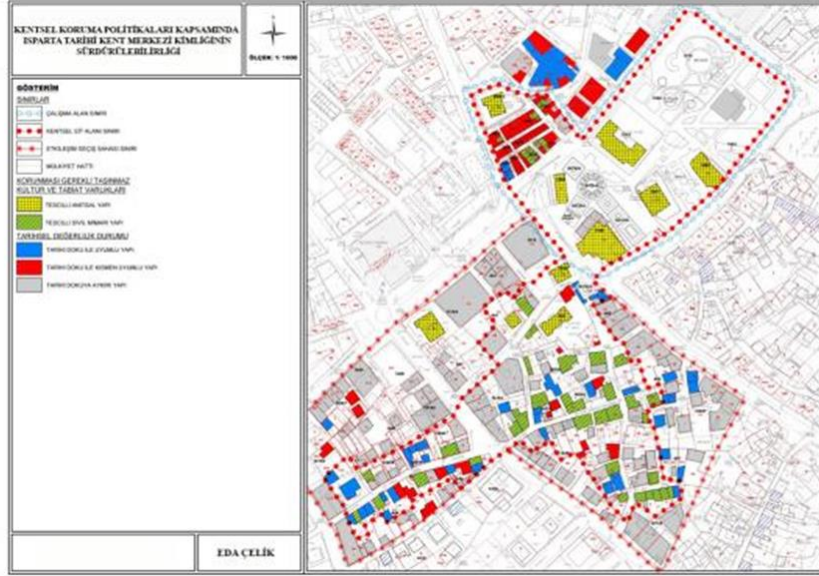
Isparta tarihi kent merkezine ilişkin son koruma kararı ise “Tarihi Sit Alanı”, “Kentsel Sit Alanı” ve “Korunacak Sokaklar” olarak ilan edilen koruma statü alanlarının, Antalya Kültür ve Tabiat Varlıkları Koruma Bölge Kurulu’nun 21.01.2013 tarih ve 1350 sayılı kararı ile birleştirilerek Isparta Sit Alanı olarak ilan edilmesidir. Bu koruma statü kararı, Isparta tarihi kent merkezinin mekânsal ve işlevsel bağlamda kimlik bütünlüğünün sağlanması bakımından önemlidir.

### 2.2.2. Mekânsal ve İşlevsel Kimlik Değerleri

Çalışma alanı Valilik binası, Ulucami, Firdevsbey Bedesteni, Dalboyunoğlu Hamamı olmak üzere kamusal yapıların bulunduğu alan ile Mimar Sinan Camii ile Üzüm Pazarını kapsamakta olup kentin geçirmiş olduğu tarihsel süreçteki mekânsal ve işlevsel kimliğine dair izler barındırmaktadır.

Mekânsal ve işlevsel kimlik değerleri açısından bakılırsa, Osmanlı dönemi mimari üslubunu yansıtan camiler ile birlikte hamam, bedesten ve Valilik gibi kamusal hizmet binaları önemli “simgesel yapılar” olarak görülebilir.

Kent kimliğini tanımlayan simgesel yapılar ayrıntıda incelendiğinde, kentin dini odak yapıları işlevindeki Ulucami ile 1569 yılında inşa edilen Mimar Sinan Camisi, kentin idari merkezi niteliğindeki Valilik binası, kentin ekonomik etkinlik merkezi olarak ticaret faaliyetlerine konu olan Firdevsbey Bedesteni (1561) ve Üzüm Pazarı (1561) kentin sosyal hizmet yapıları arasında sayılan Bey Hamamı ve Dalboyunoğlu Hamamı (1693) olarak sıralanabilir (Şekil 3).



Şekil 3. Isparta Tarihi Kent Merkezi, simgesel yapılar

## 3. Araştırma Sonuçları

### 3.1. Çalışma Alanı ve Yakın Çevresine Ait Analizler

Çalışma alanı ve yakın çevresinin koruma sorunları ve kimlik değerleri bağlamında mevcut durumu, hâlihazır haritalar kullanılarak üretilen analitik haritalar yardımıyla analiz edilmiştir. Bu analizler, kat adedi analizi, yapı kullanım biçimi analizi, tarihsel dönemleme analizi, tarihi değerlilik analizi ve yapısal durum analizi olmak üzere 5 (beş) yönden ele alınmıştır.

#### 3.1.1. Kat Adedi Analizi

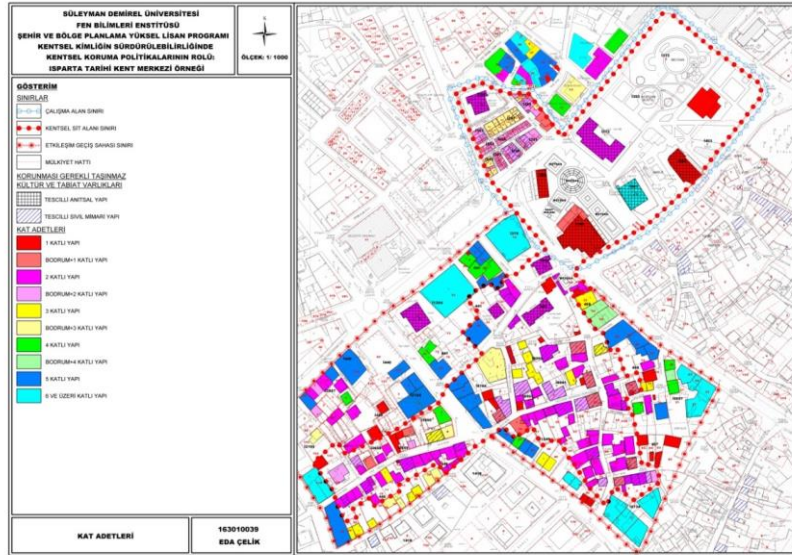
Yapılan analiz çalışmalarına göre çalışma alanında bulunan 117 adet yapının yaklaşık %20'sini çok katlı yapılar oluşturmaktadır. Çok katlı yapıların tümü, tarihi kent merkezindeki yapılara göre görünüm-siluet ve cephe

karakteristiği bağlamında aykırı yapılardır. Bu yapılar çoğunlukla tarihi kent merkezinin hemen çevresindeki yeni ticari yapılardır. Yüksek katlı yeni yapılar haricinde alanda an fazla mevcut olan yapılar bodrum+2 katlı yapılardır (Tablo 1, Şekil 4).

Isparta'nın ilk imar planından kent kimliği bağlamında korunması öngörülen ve görünüm-siluet etkisini oluşturan yapı yükseklikleri, özellikle 1970 sonrasında itibaren süreç içinde müdahaleler ile bozulmuştur. Bu açıdan, tarihi kent merkezi ve yakınında bulunan “Korunacak Sokaklar”, Koruma Kurulu kararı ile koruma statüsü altına alınması cephe karakteristiğinin korunması bakımından önemlidir. Ancak, tarihi kent merkezi yakın çevresinde özellikle son otuz yılda giderek artan yüksek yapılaşma eğilimlerinin kentin kimliğini olumsuz etkilediği görülmektedir.

Tablo 1. Kat Adedi Analizi

KAT ADEDİ ANALİZİ		
	ADET	%
1 KATLI YAPI	6	5,13
BODRUM+1 KATLI YAPI	6	5,13
2 KATLI YAPI	2	1,71
BODRUM+2 KATLI YAPI	78	66,67
BODRUM+3 KATLI YAPI	24	20,51
6 VE ÜZERİ KATLI YAPI	1	0,85
<b>TOPLAM</b>	<b>117</b>	<b>100,00</b>



Şekil 4. Kat Adedi Analizi

### 3.1.2. Yapı Kullanım Biçimleri Analizi

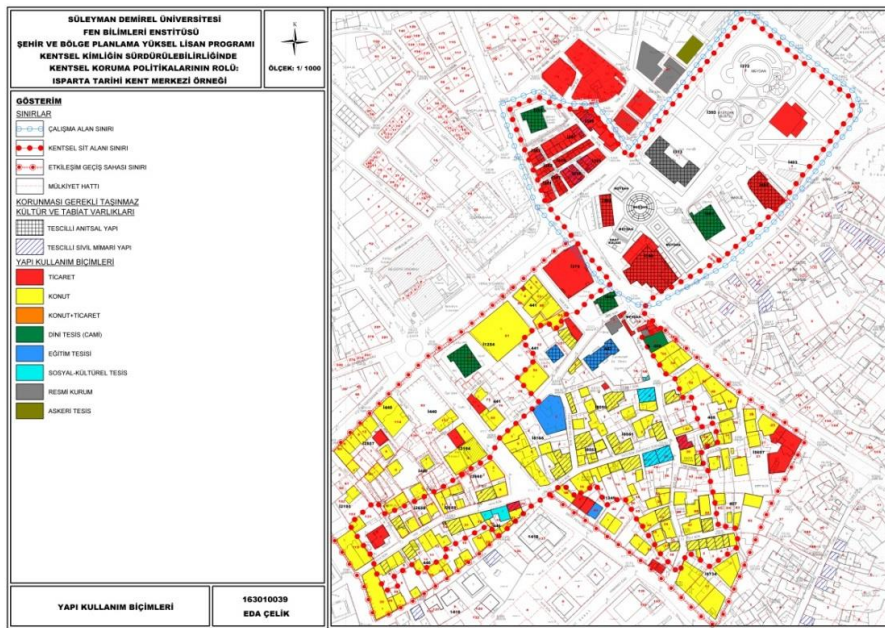
Çalışma alanı Mimar Sinan Camii ve Üzüm Çarşısının bulunduğu kentsel sit alanı olarak ilan edilen ticari bölge ve bulunduğu kamusal ve tarihi niteliğe sahip anıtsal yapıların bulunduğu iki bölgeden oluşmaktadır. Alanda 2 adet dini tesis, 1 adet resmi kurum ve 114 adet ticaret yapısı vardır. Ticaret

yapıları alandaki tüm yapıların yaklaşık %98 kısmını oluşturmaktadır (Tablo 2, Şekil 5).

Alanın çevresindeki yakın döneme tarihlenen ticari yapılar hem yüksek katlı oluşları nedeniyle, hem de ulaşım yapısındaki yükü artırmalarından dolayı kentin sahip olduğu kimliği olumsuz yönde etkilemişlerdir.

Tablo 2. Yapı Kullanım Biçimleri Analizi

YAPI KULLANIM BİÇİMLERİ		
	ADET	%
<i>DİNİ TESİS (CAMİ)</i>	2	1,71
<i>RESMİ KURUM</i>	1	0,85
<i>TİCARET</i>	114	97,44
<b>TOPLAM</b>	<b>117</b>	<b>100,00</b>



Şekil 5. Yapı Kullanım Biçimleri Analizi

### 3.1.3. Tarihsel Dönemleme Analizi

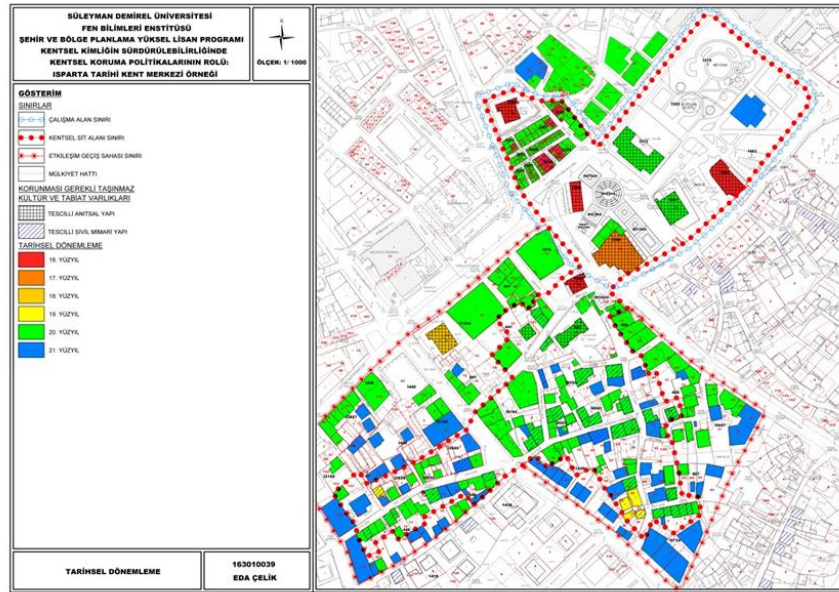
Çalışma alanındaki anıtsal yapı niteliğindeki yapılardan en erken tarihli olan Mimar Sinan Camii ve camiye destek olması amacıyla yaptırılan Firdevs Bey Bedesteni ve Üzüm Çarşısı içerisindeki 16 adet dükkân ile Bey Hamam'ı 16. Yüzyılda inşa edilmiş, Dalboyunoğlu Hamam'ı ise 17. Yüzyılda inşa edilmiş olan yapılardır. Valilik Binası ve alandaki diğer tüm yapılar 20. Yüzyılda inşa edilmiş olan yapılardır. Bu yapıların büyük bir kısmının çok katlı olmasının yanında, inşa edildikleri dönemin mimari üslubunu yansıtan bodrum+1 ve bodrum+2 kat özelliğinde olan yapılar da vardır.

Çalışma alanının en yoğunluklu yapı grubunu %80 ile 20. Yüzyılda inşa edilen yapılar oluşturmaktadır (Tablo 3, Şekil 6).

20. yüzyılda inşa edilen yüksek katlı yapılar ile tarihi kent merkezindeki tarihsel doku bütünlüğünü yitirmiş, etrafında gelişen yeni çevre bu tarihi dokunun yok olmasına neden olmuştur. Kentin kimliğini oluşturan en önemli faktörlerden olan mimari kimlik bu yüksek katlı ve çevresiyle uyumsuz yapılaşmalardan etkilenmiş, dolayısıyla kent kimliği bu durumdan zarar görmüştür.

Tablo 3. Tarihsel Dönemleme Analizi

TARİHSEL DÖNEMLEME		
	ADET	%
16.YÜZYIL	19	16,24
17.YÜZYIL	1	0,85
20.YÜZYIL	94	80,34
21.YÜZYIL	3	2,56
<b>TOPLAM</b>	<b>117</b>	<b>100,00</b>



Şekil 6. Tarihsel Dönemleme Analizi

### 3.1.4. Tarihi Değerlilik Analizi

Isparta tarihi kent merkezindeki kentsel sit alanı ve mevcut yapıların Antalya Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Bölge Kurulu'na tescillenmesi yapılmıştır. Alandaki en eski tarihli yapı olan Mimar Sinan Camii 10.02.2005 tarihli ve 241 sayılı karar ile tescil altına alınmıştır. Yine tarihi açıdan en eski yapılardan olan Firdevs Bey Bedesteni Gayrimenkul Eski Eserler ve Anıtlar Yüksek Kurulu Başkanlığı'nın 13.05.1977 tarih ve A-548 sayılı kararı ile tesciline ve Antalya Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Bölge Kurulu'nun 25.09.1990 tarih ve 9021 sayılı kararıyla tescilinin devamına karar verilmiştir. Alanda bulunan Kutlubey (Ulu) Camii Gayri Menkul Eski Eserler ve Anıtlar

Yüksek Kurulu Başkanlığı'nın 13.06.1977 tarih ve A-548 sayılı kararı ile tescillenmiş, Antalya Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Bölge Kurulu'nun 25.09.1990 tarih ve 901 sayılı kararı ile de tescilinin devamına karar verilmiştir. Alandaki Dalboyunoğlu Hamamı Antalya Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma ve Bölge Kurulu'nun 1990 tarih ve 901 sayılı kararıyla, Valilik Bina'sı ise Antalya Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma ev Bölge Kurulu'nun 25.09.1990 tarih ve 901 sayılı karar ile tescillenmiştir.

Alanın ticari bölgesini oluşturan Üzüm Çarşısı ve Mimar Sinan Camii'nin bulunduğu alan Antalya Kültür ve Tabiat

Varlıklarını Koruma Kurulu'nun 26.07.1992 tarihli ve 1495 sayılı kararı ile kentsel sit alanı olarak ilan edilmiştir.

Üzüm Çarşısı içerisindeki 16. yüzyıla tarihlenen 16 adet dükkân tescillenmiştir.

Tarihi kent merkezindeki resmi ve ticari yapılar olan Valilik Bina'sı, Dalboyunoğlu Hamamı, Firdevsbey Bedesteni ve Ulu Cami'nin bir arada bulunduğu alan Antalya Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Kurulu'nca tarihi sit alanı olarak ilan edilmiştir.

Alandaki yapıların %5 kısmı anıtsal yapılar, %14 kısmı sivil mimarlık eserleri olmak üzere toplam % 18 kısmı koruma altındaki tescilli yapılardan oluşmaktadır Diğer yapılar ise yapıldıkları dönem mimari üslupları çerçevesinde ve bir bütün

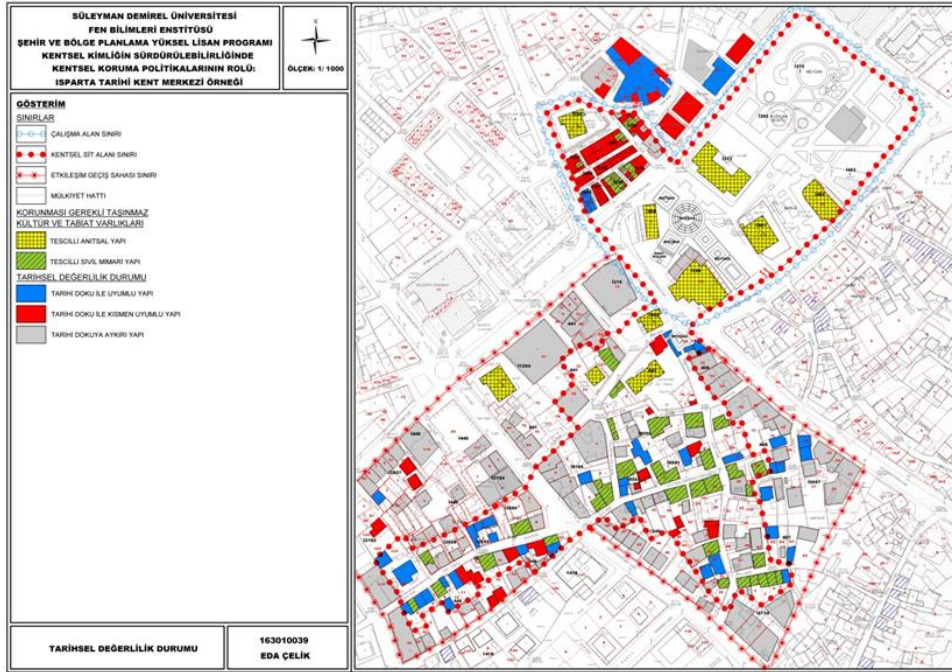
olarak değerlendirildiğinde, %6 kısmı tarihi doku ile uyumlu, % 66 kısmı tarihi doku ile kısmen uyumlu %9 kısmı ise tarihi dokuya aykırı yapılardan oluşmaktadır (Tablo 4, Şekil 7).

Alan bütününde tescilleme çalışmaları yapılmış olmasına rağmen tarihi doku büyük ölçüde kaybedilmiştir. Bu durum, alandaki kültür varlıklarının özgün niteliklerinin, uyumsuz ve aykırı yapılar nedeniyle tarihi çevrenin kimliksizleşme ya da kimliğini kaybetme riskini doğurmaktadır. Ancak, çalışma alanı ve yakın çevresinde özellikle son dönemde inşa edilmiş yeni yapıların –neredeyse– tümü tarihi çevrenin kimliğine aykırı yapılardır.

Tablo 4. Tarihsel Değerlilik Durumu Analizi

**TARİHSEL DEĞERLİLİK DURUMU**

	ADET	%
TARİHİ DOKU İLE UYUMLU YAPI	7	5,98
TARİHİ DOKU İLE KISMEN UYUMLU YAPI	77	65,81
TARİHİ DOKUYA AYKIRI YAPI	11	9,40
TESCİLLİ ANITSAL YAPI	6	5,13
TESCİLLİ SİVİL MİMARİ YAPI	16	13,68
<b>TOPLAM</b>	<b>117</b>	<b>100,00</b>



Şekil 7. Tarihsel Değerlilik Durumu Analizi

### 3.1.5. Yapısal Durum Analizi

Bu analiz çalışmasında, çalışma alanında mevcut bulunan yapıların günümüzdeki yapısal durumları incelenmiştir. Sivil mimari özelliğinde olan yapıların tümü günümüze kadar yapısal durum özelliklerini sürdürmüş, aralarından bazıları belirli tarihlerde yapısal onarım görmüştür. Alanda bulunan yapıların yaklaşık %81 kısmı orta derecede iyi, yaklaşık %19 kısmı ise iyi durumdadır. İyi durumda olan yapıların tümü 19. yüzyıl ve 20. yüzyılda inşa edilen yapılardır. Alanda kötü

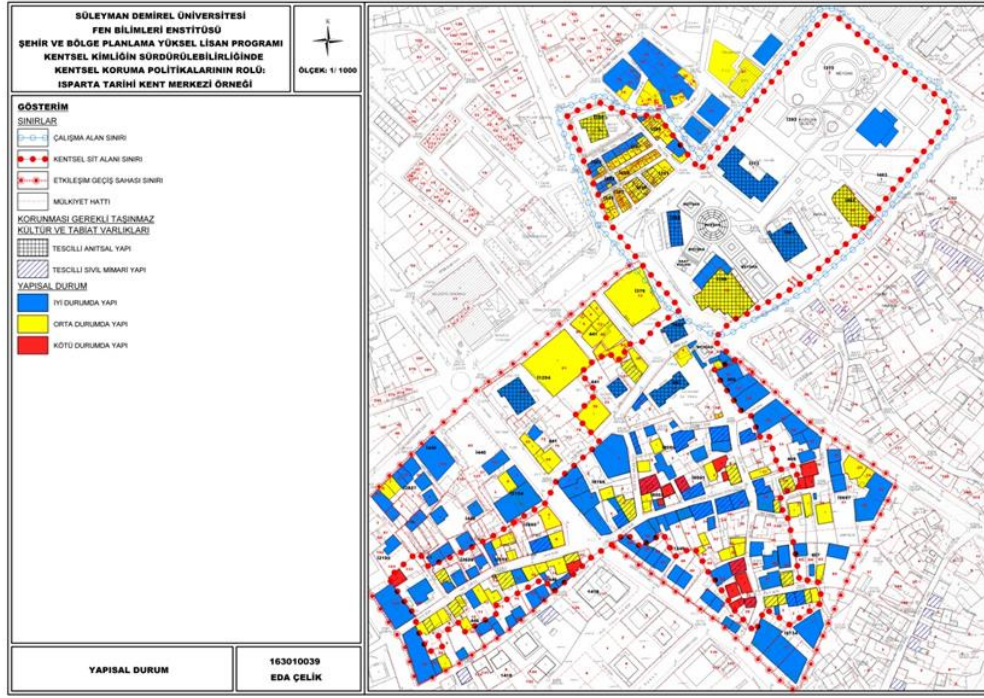
durumda ya da harabe durumunda yapı bulunmamaktadır (Tablo 5, Şekil 8).

Kentin Sivil mimari özellikli yapıları mimari üsluplarına uygun olarak onarım gördüklerinde, mevcudiyetlerini yüzyıllar boyunca koruyabilmekte, edinmiş oldukları mimari, tarihsel ve kültürel kimliklerini gelecek nesillere ulaştırabilmektedir. Yapılar günümüzde aktif olarak kullanılmakta, yapılan onarımlar sayesinde kullanım işlevlerini devam ettirmekte, bu durum da alanın canlılığını

muhafaza etmesine yardımcı olmaktadır. Bu durum kent kimliğinin sürdürülmesinde önemli rol oynamaktadır.

Tablo 5. Yapısal Durum Analizi

YAPISAL DURUM		
	ADET	%
İYİ DURUMDA YAPI	22	18,80
ORTA DURUMDA YAPI	95	81,20
<b>TOPLAM</b>	<b>117</b>	<b>100,00</b>



Şekil 8. Yapısal Durum Analizi

#### 4. Sonuç

Çalışma alanı Isparta'nın tarihi niteliğe sahip kent merkezidir. Alanda ve yakın çevresinde mimari doku açısından büyük değişiklikler meydana gelmiş olmasına karşın, kendine has sokak yapısı ve barındırdığı tarihi yapılar ile kentin şu anki kullanıcılarına geçmişin izlerini yansıtmaktadır.

Ticari ve kamusal kullanımlardan oluşan kentsel sit ve tarihi sit alanı kentin sosyal ve toplumsal yaşamını besleyen bir alan olması sebebiyle kent merkezi olma özelliğini devam ettirmektedir. Son yıllarda çeşitli ticari aktivitelerin yoğunlaşması nedeniyle tarihi yapı varlığı zarar görmekte, yok olma tehlikesiyle karşı karşıya kalmaktadır.

Kamusal işlev özelliği bulunan tarihi sit alanındaki yoğun araç trafiği alandaki tarihi değere sahip olan sivil mimari ve anıtsal yapıların önemli müdahalelere maruz kalmasına sebep olmuştur. Kent merkezinin günümüzde de merkez çevresine doğru gelişmesi nedeniyle alandaki yoğun taşıtlı trafik yolları artmış, yeni gelişen alanlarda dokuya uyum sağlamayan yapılar inşa edilmiştir.

Alandaki tarihi niteliğe sahip ticari bölge kentte artan alışveriş merkezleri nedeniyle eski cazibesini kaybetmiş, bu durumdan dolayı yapıların mülk sahipleri ekonomik açıdan

yetersiz kaldıkları için yapıların bakımları yapılamamış, bu durum da tarihi dokunun kullanıcının zihninde oluşturduğu imajı olumsuz etkilemektedir.

Son yıllardaki imar çalışmaları ile alanın kentsel değerliliği canlandırılmaya çalışılmakta, bununla beraber alandaki betonarme ve çok katlı yapıların artması ile alan niteliksiz bir yapılaşma ile karşıya kalmakta, bu durum da geleneksel ve tarihi dokudaki bütünlüğe zarar vermektedir.

Çalışma alanında büyük ölçekli planlar ile alt ölçekteki uygulamaları arasında kopuk bir ilişkinin olduğu gözlemlenmiştir. Isparta kent merkezinde yer alan Isparta sit

alanına yönelik "Koruma Amaçlı İmar Planı" yapılmıştır. Yine aynı alana yönelik retorasyon çalışmaları yapılmış ve yapılmaya devam etmektedir. Fakat tek yapı ölçeğinde gerçekleştirilen koruma çalışmaları ile sit alanını kapsayan çalışmalar dışında kalan ölçekler için korumaya yönelik çalışmaların eksikliği görülmektedir. Tek yapı ölçeğinde gerçekleştirilen uygulamaların kentsel bütüne dâhil edilememesi koruma anlayışının bütüncül yaklaşımına ters düşmektedir.

Alan ve yakın çevresinde bulunan tarihi dokuyla ve kent kimliğiyle uyumsuz yapıların geneli kullanılır durumdadır. Taşıt trafiğinin az olduğu ulaşım akslarında tarihi değeri olan



ve tescilli olan yapılar fazladır. Taşıt trafiğinin fazla olduğu ulaşım akslarında ise anıtsal niteliğe sahip yapılar yer almaktadır. Alanın büyük bir yoğunluğu trafiğe açık durumdadır. Çalışma alanı ve yakın çevresindeki ulaşımın yoğunluğu tarihi dokuyu olumsuz etkilemekte, çevresinde yer alan yeni yapılar ise tarihi dokuyla uyumsuzluk göstermektedir.

Kentin yapay çevre kimliğini oluşturan kent mobilyaları da kentin imajına ve kimliğine dair önemli unsurlardandır. Isparta kent bütününde ve tarihi kent merkezinde, Isparta'ya has karakteristik bir özellik olan gül unsurunun işlendiği kent mobilyaları yoğunluktadır. Fakat bu mobilyalar özellikle tarihi kent merkeziyle bütünlük oluşturmayan özellikte ve hacimdedir. Tarihi, kültürel ve ticari faaliyetlerin geçmişten günümüze kadar yoğun bir şekilde devam ettirildiği kent merkezinde bu yapılar fazladan yoğunluk oluşturmakta, aynı zamanda kentin tarihi ve kültürel kimliğine aykırılık oluşturmaktadır.

Tarihi niteliğe sahip olan yapılar inşa edildikleri tarihi dönemin toplumsal ve kültürel yapısına ışık tutan birer kimlik elemanlarıdır. Zamanının toplumsal ilişkilerine, kültürel yapısına, geleneklerine, alışkanlıklarına ve hatta aile yapısına göre şekillenen bu tür yapılar ve bir arada bulunarak oluşturdukları kentsel doku günümüz müdahalelerine çoğu zaman uyum sağlayamamaktadır. Tarihi doku çevresinde gelişen ticaret alanları ve iş alanları bu dokunun eski canlılığını kaybetmesine, işlevsiz kalıp terk edilmesine neden olmaktadır. Tarihi kent merkezindeki yoğun ticaret ve hizmet sektörlerinin gelişimi, alandaki anıtsal yapıları ve oluşturdukları dokuyu zorlamakta, daha fazla fayda edinme amacının benimsenmesi sonucunda inşa edilen çok katlı binalar bu dokunun bozulmasına sebep olmakta, yapılan imar planı çalışmalarıyla gerçekleşen yoğunluk artışı bu dokuyu yok etmeye sürüklemektedir.

Çalışma alanının yer aldığı tarihi kent merkezi ve oluşturduğu dokuyu korumak amaçlanmış ve planda kentin gelişme yönünün tarihi kent merkezinin tersi yönde olması hedeflenmiştir. Hükümet meydanı olarak karar verilen alana inşa edilen Valilik Bina'sı tarihi kent merkezine ters konumlandırıldığı için gelişim, İstasyon Caddesi yönünde olmuş fakat bu durum tarihi kent merkezinin arka planda kalmasına sebebiyet vermiştir. Günümüzdeki imar planı çalışmalarında da tarihi kent merkezinin korunmasına yönelik kararlar geliştirilmemekte, alanın cazibesinin yeniden kazandırılması için işlevsel yoğunluk artırılmaktadır. Bu durum ise tarihi kent merkezi ve çevresinde yoğun bir yapılaşmanın meydana gelmesine neden olmaktadır. Dolayısıyla bu yoğun yapılaşma ve işlevsel yük alanın sahip olduğu kimliğin tehlikeye düşmesine neden olmaktadır.

Kentsel gelişim ile birlikte kentin merkezinde bulunan tarihi kent merkezleri, sahip oldukları kendine has özellikler ve kimlikleri açısından zarar görmektedirler. Bu durumun sebebi kentin kimliğinin meydana gelmesinde tüm tarihi sürecin, bu süreçte kentte ikamet edenlerin sosyal yapısının ve geçmiş ile gelecek arasında bağ kurmayı hedefleyen yasal düzenlemelerin öneminin farkında olunmamasıdır. Bu yüzden koruma çalışmalarında üst ölçek itibari ile bütünsel hareket edilmemekte, yerinde ve noktasal müdahaleler ile alandaki sorunlar ortadan kaldırılmaya çalışılmaktadır. Tüm bu faaliyetlerin bir kentin kimliğinin sürdürülebilir olmasındaki

etkisi büyüktür. Bunlardan etkilenen bir tarihi mekânsal alan da Isparta tarihi kent merkezidir.

Çalışma alanında yer alan yapılar işlevleri bakımından kamusal, ticari ve konut olarak üç farklı işlevdedir. Bu alanı tanımlayan sit sınırının yeterli genişlikte olmaması sebebiyle kent merkezinin dokusunu bozacak nitelik ve yükseklikte binalar inşa edilmektedir. Sit alanı içerisinde yer alan boş parseller yakın çevredeki parseller ile birleştirilip kent merkezinin otopark ihtiyacı bu şekilde çözülmeye çalışılmaktadır. Sit sınırının yeterli genişlikte olması ile dokudaki bozulmaların önüne geçilebileceği düşünülmektedir.

Çalışma alanı içerisinde ve yakın çevresinde yer yapıların mevcut işlevlerinin devam ettirilmesi, başka işlevlerin bu alanda yoğunlaşmasına izin verilmemesi alanın ve yakın çevresinin kullanım yoğunluğunu dengede tutmaya yarayacaktır.

Tarihi dokularını koruyan yerleşmelerde ulaşımın motorlu taşıtlarla yapılması ve tarihi kent merkezindeki taşıt trafiğinin yoğun olması bu dokuya zarar verebilmektedir. Bu sebeple alan ve yakın çevresinde yayalaştırma çalışmaları yapılmalıdır.

Sonuç olarak kentsel kimliğin sürdürülebilirliğinde kentin çekirdeğini oluşturması nedeniyle tarihi kentsel alanlarda ve kent bütünündeki fiziksel, ekonomik, sosyal ve kültürel yapının kapsayıcı politika ve stratejiler ile korunması gerekmektedir.

Tarihi kent merkezleri ve yakın çevreleriyle oluşturduğu dokuda, koruma ve sürdürülebilirlik çalışmaları tek yapı ölçeğinden tüm alan ölçeğine kadar genişletilmeli, alandaki doku sosyal, fiziksel ve kültürel yapısıyla bir bütün olarak düşünülmeli ve kentin kimliğinin sürdürülebilir olması için bu unsurların korunması gerekmektedir. Kent kimliğinin gelecek nesillere aktarılmasını ve sürdürülebilir olmasını sağlayacak en önemli aracın kentsel koruma politikaları olduğunu unutmamak gerekmektedir.

Korunması gereken alanlara yönelik koruma yaklaşımları kentsel ölçekte, daha evvelden mevcut olan ve koruma sürecinin her safhasında mutlaka göz önünde bulundurulması gereken yapı varlığının, kentin tamamında yaşanan değişim ve gelişmelere devamlı olarak uyarlanması şeklinde olmalıdır. Bu sebeple tüm alanlardaki planlama sürecinin sahip olduğu yapısal değerler, hem plan açısından hem de kendi varlığını sürdürme açısından gelecekte oluşması muhtemel yeni koşullar göz önünde bulundurulurken önemsenmelidir.

Yapılardaki fiziksel yıpranmaların önüne geçmek amacıyla bakım ve onarımlarında süreklilik sağlanmalıdır. Kentsel koruma alanları ile çevredeki alanlara yönelik alınan kararların bir bütün olması sağlanmalıdır.

Kentsel dokuya zarar verecek nitelik ve görünüşteki yapılar, koruma alanlarında alınacak planlama kararları ile yok edilmelidir. Toplumun geçmişte içerisinde bulunduğu sosyal ve ekonomik şartları ve kültürel değerlerini yansıtan fiziksel yapısının günümüzün değişen sosyo-ekonomik şartlarında yok olmasına engel olmak, çağdaş gelişmelerle bütünleşerek kentsel kimliğin devam etmesini sağlamak gerekmektedir.

Isparta tarihi kent merkezi kimliğinin sürdürülebilirliği açısından kentsel koruma politikaları önem taşımaktadır. Koruma tek yapı ölçeğinde olabilmesinin yanı sıra yapı gruplarının oluşturduğu kentsel dokuyu kapsayan ölçekte de

olabilmektedir. Tarihi kent merkezi için koruma politikaları geliştirilirken alan için uygulanacak planda yapılar ve tarihi kent dokusu kent bütününden ayrı düşünülmemeli, kentin bütünüyle uyum sağlaması amaçlanmalıdır.

Tarihi sit alanı ve kentsel sit alanı içerisinde bulunan yapıların tescil çalışmaları yapılmalı, zamanla tahrip olmalarına yönelik yenileme ve düzenleme çalışmaları yapılmalı, alanda gerçekleşecek yeni yapıların denetimi iyi yapılmalıdır.

Alandaki köhneleşmenin önüne geçilmeli, mevcut yapılar bakımsız bırakılmamalı, mevcut potansiyelleri değerlendirilmeli ve dengeli bir şekilde alanın eski cazibesini kazanması sağlanmalıdır. Tarihi dokunun varlığını devam ettirmesi ve gelecek nesillere aktarılabilmesi için alan işlevsel olarak canlandırılmalıdır.

Alanda sit dokusuna daha fazla zarar verecek işlevsel, fiziksel ve sosyo-ekonomik açıdan farklılık teşkil eden yapılaşmalar önlenmeli, alanın klasik Osmanlı şehri yapılanması muhafaza edilmelidir.

Bu sebeple alanı kapsayan koruma çalışmalarının artması, mekândaki değişiklikler doğrultusunda güncellenmesi, alana dair geliştirilen politikaların uygulanması ve takibinin sağlanması alandaki kimliğin sürdürülüp gelecek nesillere aktarılmasında önem taşımaktadır.

## Kaynakça

- Anonim. 2009. Isparta İl Kültür Envanteri Isparta: T.C. Isparta Valiliği İl Kültür Turizm Müdürlüğü Yayınları.
- Clammer, J. (2003). Globalization, class, consumption and civil society in South east Asian cities. *Urban Studies*, 40, 403–419. Retrieved March 19, 2007, from EBSCOhost Academic Search Premier database.
- Erkmen, B. (1990). Şehir Kimliği Ve Şehir Mobilyası Üzerine. *Arredamento Dekorasyon*, Boyut Yayın Grubu, İstanbul, 17: 126-7.
- Gündüz, O. Ve Taner, T. (2001). Küreselleşme Sürecinde Türk Kentlerinin Kimlik Sorunları Ve İzmir Örneği. 1.Uluslar Arası Kentsel Tasarım Buluşması, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, İstanbul.
- Isparta Belediyesi. (2014). Kentsel Sit Alanı Ve Etkileme Geçiş Bölgesi Koruma Amaçlı İmar Planı. Isparta: Isparta Belediyesi.
- Isparta Belediyesi. (2019). Isparta İlk İmar Planı. Isparta
- İlgar, E. (2008). Kent Kimliği Ve Kentsel Değişimin Kent Kimliği Boyutu Eskişehir Örneği. Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı, Eskişehir.
- Jacobs, Jane. Büyük Amerikan Şehirlerinin Ölümü ve Yaşamı. İstanbul : Metis Yayınları, 2011.
- Kong, L. L. (2000). Value Conflicts, Identity Construction, and Urban Change. In LeGates, R. & Stout, F. (Eds.), (pp. 354-365). *The City Reader*, London.
- Kroft, K. (1996). Urban tissue and the character of towns. *Urban Design International*, 1(3), 247-263.
- Lynch, Kevin. Kent İmgesi. İstanbul : Türkiye İş Bankası Kültür Yayınları, 2017.
- Oktay, D., 2007. Sürdürülebilirlik Yaşanılabilirlik Ve Kentsel Yaşam Kalitesi: Kavramdan Uygulamaya. *Mimarlık Dergisi*, 335, 37-40.
- Öelsner, P. R. (1942). Isparta'ya 1942 Ağustosundaki Seyahatin Raporu. *Ün Dergisi*, 1812-1814.

Paul, D. (2004). World cities as hegemonic projects: the politics of global imagineering in Montreal. *Political Geography*, 23, 571– 596.

Şahin, M.N. (2010). Kent Kimliği Ve Değişim Sürecinin Kayseri Kenti Örneğinde İrdelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Şehir Ve Bölge Planlama Anabilim Dalı, İstanbul.

Tekeli, İ., 1991. “Bir Kentin Kimliği Üzerine Düşünceler”, Kent Planlaması Konuşmaları, TMMOB Mimarlar Odası Yayınları, s. 79-89, Ankara.

Türk, A., Polat, E., & Kıstır, M. R. (2013). Isparta İdare Mahkemesi Başkanlığı'na Bilirkişi Raporu.



# Sürdürülebilirlik için GİA ve AHP Yöntemleri ile Yeşil Tedarikçi Seçimi: Bir Otomotiv Ana Sanayi Uygulaması

Sedef Kılınç<sup>1</sup>, Betül Yağmahan<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-6292-7480), [sedefcaglan@gmail.com](mailto:sedefcaglan@gmail.com)

<sup>2\*</sup> Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye (ORCID: 0000-0003-1744-3062), [betul@uludag.edu.tr](mailto:betul@uludag.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 8 Nisan 2021 ve Kabul Tarihi 11 Ekim 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.909253)

**ATIF/REFERENCE:** Kılınç, S. & Yağmahan, B. (2021). Sürdürülebilirlik için GİA ve AHP Yöntemleri ile Yeşil Tedarikçi Seçimi: Bir Otomotiv Ana Sanayi Uygulaması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (27), 686-698.

## Öz

Artan rekabet koşulları ve küreselleşmenin etkisiyle son yıllarda işletmeler için tedarikçi seçim kararı, tedarik zincirlerini geliştirmeleri açısından oldukça önemlidir. Bu karar için, tedarikçi değerlendirme kriterlerinin doğru belirlenmesi ve bu kriterlere göre en uygun tedarikçinin seçilmesi gereklidir. Yaşadığımız doğal felaketler çevre bilincini artırmış ve yaşam döngüsü bakış açısını geliştirmiştir. Bu nedenle sürdürülebilirlik için tedarikçi seçiminde yeşil olma kriteri çok kritik bir rol almaktadır. Bu çalışmada, klasik tedarikçi seçim kriterleri ile birlikte çevresel performans kriterlerinde dikkate alındığı yeşil tedarikçi seçim problemi ele alınmıştır. Bu problemin çözümü için çok kriterli karar verme yöntemlerinden Gri İlişkisel Analiz (GİA) ve Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) kullanılmıştır. Bir otomotiv ana sanayi işletmesine ait tedarikçi seçimi probleminin çözümü için önerilen yöntemler kullanılmış ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Ayrıca yeşil tedarikçi seçim sürecinde kullanılan ana kriterler ve karar vericiler kümesinin değişimindeki etkiyi görmek üzere farklı senaryolar üzerinde duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir. Böylece otomotiv endüstrisi yöneticilerine en uygun tedarikçileri seçebilmelerinde yeşil olma kriterini de içeren yararlı bir metodoloji sunulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Yeşil tedarikçi seçimi, Gri ilişkisel analiz, Analitik hiyerarşi prosesi, Sürdürülebilirlik, Otomotiv sektörü, Duyarlılık analizi.

## Green Supplier Selection Using GRA and AHP Methods for Sustainability: An Automotive Industry Case Study

### Abstract

In recent years, supplier selection has become very important for companies to improve the supply chain with the impact of increasing competition and globalization. It is necessary to determine the right criteria in supplier selection. Natural disasters have increased environmental awareness and developed a life-cycle perspective. Therefore, green criteria play a very critical role in supplier selection for sustainability. In this study, the green supplier selection problem, in which environmental criteria are taken into account along with the classical supplier selection criteria, is discussed. Grey Relational Analysis (GRA) and Analytical Hierarchy Process (AHP), which are multi-criteria decision-making methods, are used to solve this problem. The proposed methods are applied to solve the supplier selection problem in an automotive industry company, and the obtained results are compared. Also, a sensitivity analysis is carried out on different scenarios to assess the effects of the main criteria and decision-makers used in the green supplier selection process. Hence, a useful methodology considering the green criteria is presented to the managers of the automotive industry for selecting the most suitable suppliers.

**Keywords:** Green supplier selection, Grey relational analysis, Analytical hierarchy process, Sustainability, Automotive industry, Sensitivity analysis.

\* Sorumlu Yazar: [betul@uludag.edu.tr](mailto:betul@uludag.edu.tr)

## 1. Giriş

İşletmelerin varlığını sürdürebilmeleri için harcamalarını kontrol altında tutarak performanslarını artırmaları gerekmektedir. İşletmelerin performansını artırmaları sadece kendi çalışmalarına bağlı değildir. Aynı zamanda tedarikçilerinin performanslarıyla da ilişkilidir. Bu nedenle işletmelerin satın alma birimlerinin doğru tedarikçi seçimi yapmaları çok önemli hale gelmektedir. Bir işletmenin ihtiyaçlarını sürekli ve kabul edilebilir bir maliyetle karşılama potansiyeli en yüksek olan tedarikçilerini belirlemek tedarikçi seçiminin amacıdır (Kahraman vd., 2003).

Klasik tedarikçi seçiminde genellikle fiyat, ürün kalitesi, teslimat, finansal ölçüler, teknik işbirliği, şirket yapıları, kalite sistemleri, tedarikçi tecrübesi ve itibarı gibi maliyet ve sosyal odaklı kriterler kullanılmaktadır (Dweiri vd., 2016). Ancak son yıllarda, uluslararası gündemin ilk konularından birisini iklim değişikliğine karşı mücadele oluşturmaktadır. İklim değişikliğinin temel nedeni, insan faaliyetlerine bağlı sera gazları emisyonu olarak belirlenmiştir. Kyoto protokolü bu amaçla hazırlanmış, hem sanayileşmiş hem de gelişmekte olan ülkeleri ilgilendiren ve küresel ölçekte sera gazı emisyonlarını azaltmayı amaçlayan bir girişimdir. Böylece uluslararası toplumun bu konudaki artan ilgisiyle de birlikte, tüketici davranışı değişmeye başlamıştır ve satın alınan ürün ve hizmetlerin çevresel etkileri değerlendirilmektedir (Montoya-Torres vd., 2015). Bu nedenle çevresel etkiyi azaltarak ekonomik ve sosyal gelişmeyi sağlamak şeklinde tanımlanan sürdürülebilirlik kavramının gereği olarak tedarikçi seçiminde de maliyet ve sosyal kriterlerin yanında çevresel kriterlerin dikkate alınması gerekmektedir.

Otomotiv sektörü ekonomik olarak büyük ihracat yüzdesine sahip olması, teknolojik gelişmelere yön vermesi, istihdam yaratması, plastik, metal, cam vb. birçok sektörden girdi sağlaması açısından önemli sektörlerin başında gelmektedir. Bununla birlikte, otomotiv sektörü, sera gazı emisyonu salınımında büyük bir paya sahiptir. Sera gazı emisyonu salınım değerlerine bakıldığında, ulaşım ve endüstriyel faaliyetlerin payı sırasıyla %21 ve %14 iken, dolaylı CO<sub>2</sub> emisyonları açısından bu pay %0,3 ve %11 değerindedir (IPCC, 2014). Bu nedenle bu sektörün ürünlerinde, üretim ve tedarik faaliyetlerinde çevresel sürdürülebilirliği sağlaması büyük önem arz etmektedir. Bu amaçla, işletmeler yeşil üretim faaliyetlerini benimsemektedirler. Örneğin daha az ambalaj kullanan, kirliliği azaltan ve/veya enerji tüketimini azaltan ürünler/hizmetler geliştirerek çevresel korumayı sağlamaya çalışmaktadırlar (Humphreys vd., 2003). Diğer yandan yeşil tedarik zinciri bu açıdan benimsenen bir strateji olmaktadır. İşletmelerin kendi çevresel etkilerinin yanında yaşam döngüsü bakış açısıyla tedarikçilerinin de çevresel etkilerini göz önüne alması önemlidir.

Yeşil tedarik zinciri kararlarının başında ise tedarikçi seçimi gelmektedir. Yeşil tedarikçi seçimi, klasik yöntem ile tedarikçi seçiminden farklı olarak, kriterlerin arasına yeşil parametresinin de eklenmesidir (Genovese vd., 2013). Literatürde yeşil tedarik sürecinde çevresel faktörlerin önemini vurgulayan ve dikkate alınması gereken unsurları belirleyen çalışmalar yapılmıştır (Kumar vd., 2012; Igarashi vd., 2013). Yeşil tedarik yaklaşımı müşteriler, yasalar ve düzenlemelerle uyumlu olmalıdır ve bir tedarikçinin yeşil tedarik zincirinde bir ortak olarak uygunluğunu belirlemesi için yeşil tedarikçi değerlendirme sistemi gereklidir (Lee vd., 2009).

Literatürde tedarikçi seçimi problemi ile ilgili oldukça kapsamlı çalışmalar bulunmasına rağmen, yeşil tedarikçi seçimi ise ilgili çalışmaların sınırlı olduğu görülmektedir (Shen vd., 2013; Wang Chen vd., 2016; Haeri ve Rezaei, 2019). Yeşil tedarikçi seçimi probleminin çözümü ile ilgili az sayıda da olsa optimizasyon yaklaşımları önerilmiştir. Bu çalışmaların birçoğu tedarikçi seçimi problemini de içeren tedarik zinciri optimizasyonu kapsamında farklı problemlerin bir arada ele alındığı çalışmalardır. Tsai ve Hung (2009), yeşil tedarikçi seçimi ve akış atama problemlerini içeren yeşil tedarik zinciri yapısının optimizasyonu için bir bulanık hedef programlama yöntemi önermişlerdir. Kannan vd. (2013), yeşil tedarikçi belirleme ve sipariş atama problemi için entegre bir çözüm yaklaşımı önermişlerdir. Öncelikle bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yöntemi ile kriter ağırlıkları belirlenmiş, tedarikçilerin seçimi ise bulanık TOPSIS yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Son olarak bulanık çok-amaçlı doğrusal programlama modeli ile herbir tedarikçiye ait sipariş büyüklüğü ataması yapılmıştır. Jain vd. (2016) entegre bir karar destek süreci önermişlerdir. İlk aşamada önerdikleri doğrusal programlama modeli, karbon piyasasını dikkate alan bir karbon ticareti modelidir. İkinci aşamada yeşil tedarikçi seçim süreci için, önerilen karbon ticareti modelinin çıktılarını girdi olarak kullanan veri zarflama analizi modeli geliştirilmiştir. Hamdan ve Cheaitou (2017), çok-amaçlı tamsayılı doğrusal programlama modeli önermişlerdir. Önerilen model en iyi tedarikçileri ve onlara olan sipariş miktarlarını belirlemektedir. Model girdi olarak iki veri kullanılmaktadır. İlki, bulanık TOPSIS yöntemi ile elde edilen geleneksel ve yeşil kriterlere göre tedarikçi ağırlıklarıdır. Diğerisi ise AHP yöntemi kullanılarak organizasyon stratejisine göre hesaplanan kriter ağırlıklarıdır. Babbar ve Amin (2018), yeşil tedarikçi seçimi ve sipariş büyüklüğü belirleme problemi için iki aşamalı bir çözüm yaklaşımı önermişlerdir. İlk aşama da tedarikçiler QFD modeline göre değerlendirilmektedir. İkinci aşamada ise sipariş büyüklüğünü bulmak için ilk aşamanın sonuçlarını kullanan bir çok-amaçlı optimizasyon modeli önerilmiştir.

Yeşil tedarikçi seçimi probleminin çözümü için bir diğer çözüm yaklaşım grubu ise sezgisel ve yapay zeka yaklaşımlarıdır. Bu çözüm yaklaşımlarını kullanan yine sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Kuo vd. (2010), yapay sinir ağları yöntemi ile iki çok nitelikli karar analizi (multi-attribute decision analysis) yöntemini entegre ederek bu problem için yeni bir yaklaşım önermişlerdir. Yeh ve Chuang (2011), yeşil tedarik zincirinde yeşil tedarikçi seçimi için öncelikle maliyet, zaman, ürün kalitesi ve yeşil değerlendirme kriterlerini içeren çok-amaçlı karışık-tamsayılı doğrusal olmayan programlama modeli geliştirmişlerdir. Daha sonra bu çelişkili amaçlar için pareto-optimal çözümler kümesini bulmak üzere çok-amaçlı genetik algoritma yaklaşımı önermişlerdir. Fallahpour vd. (2016) bu problem için veri zarflama analizi ve genetik programlama yaklaşımlarını birarada kullanarak çözüm elde etmişlerdir.

Yeşil tedarikçi seçim problemi, birbiriyle çelişkili nitel ve nicel kriterleri içeren tipik çok kriterli bir karar verme (ÇKKV) problemidir. Bu nedenle bu problem için literatürde sıklıkla ÇKKV yöntemleri önerilmiştir. Literatürde bu konuyla ilgili yapılan çalışmalar, yıl bazında kullanılan yöntemleri ve uygulamalarının gerçekleştirildiği sektörleri de içerecek şekilde Tablo 1'de özetlenmiştir. 2015 yılı öncesini içeren kapsamlı bir derleme çalışması Govindan vd. (2015) tarafından yapılmıştır.

Tablo 1. ÇKKV yöntemleri kullanan yeşil tedarikçi seçimi çalışmaları

Yazar(lar)	Yıl	Yöntem*	Sektör
Lu vd. (2007)	2007	AHP	Elektronik
Lee vd. (2009)	2009	Fuzzy AHP	Elektronik
Tuzkaya vd. (2009)	2009	Fuzzy ANP + Fuzzy PROMETHEE	Elektronik
Grisi vd. (2010)	2010	Fuzzy AHP	Sayısal Uygulama
Büyüközkan (2012)	2012	Fuzzy AHP; Fuzzy AD	Otomotiv
Roshandel vd. (2013)	2013	Fuzzy TOPSIS	Kimya
Hsu vd. (2013)	2013	DEMATEL	Elektronik
Hashemi vd. (2014)	2014	GİA	Sayısal Uygulama
Tsui ve Wen (2014)	2014	AHP + ELECTRE III	Elektronik
Kannan vd. (2014)	2014	Fuzzy TOPSIS	Elektronik
Hashemi vd. (2015)	2015	ANP; GİA	Otomotiv
Cao vd. (2015)	2015	Fuzzy TOPSIS	Otomotiv
Kannan vd. (2015)	2015	Fuzzy AD	Plastik
Şişman (2016)	2016	Bulanık MOORA	Elektronik
Wang Chen vd. (2016)	2016	Fuzzy AHP; Fuzzy TOPSIS	Elektronik
Awasthi ve Kannan (2016)	2016	Fuzzy NGT + VIKOR	Otomotiv
Yazdani vd. (2017)	2017	DEMATEL + COPRAS; DEMATEL + MOORA	Gıda
Qin vd. (2017)	2017	TODIM+IT2FSs	Otomotiv
Govindan vd. (2017)	2017	PROMETHEE	Gıda
Gupta ve Barua (2017)	2017	BWM + Fuzzy TOPSIS	Otomotiv
Banaeian vd. (2018)	2018	Fuzzy TOPSIS; Fuzzy VIKOR; Fuzzy GİA	Gıda
Haeri ve Rezaei (2019)	2019	GİA	Otomotiv
Gupta vd. (2019)	2019	Fuzzy AHP + MABAC; Fuzzy AHP + WASPAS; Fuzzy AHP + TOPSIS	Otomotiv
Wan vd. (2020)	2020	Fuzzy PROMETHEE	Gıda

\*ANP: Analitik Ağ Süreci (Analytic Network Process); AD: Aksiyomatik Tasarım (Axiomatic Design); NGT: Nominal Grup Tekniği (Nominal Group Technique); BWM: Best Worst Yöntemi; IT2FSs: Aralık Tip-2 Fuzzy Kümeleri (Interval Type-2 Fuzzy Sets)

Gri ilişkisel analiz (GİA), gri sistem teorisinin bir parçasıdır ve birçok faktör ve değişken arasında karmaşık ilişkilerin olduğu problemleri çözmek için uygun bir yöntemdir (Kuo vd., 2008). Gri sistem teorisinin en büyük avantajlarından biri, nispeten az miktarda veri kullanarak ve faktörlerde büyük değişkenlikle tatmin edici sonuçlar üretebilmesidir (Yang ve Chen, 2006). Daha belirsiz ortamlarda karar vermeye uygundur (Pitchipoo vd., 2015). Hem nicel hem de nitel özelliklerin değerlendirilmesini içerdiğinden tedarikçi seçim probleminde ek bir avantaja sahiptir (Rajesh ve Ravi, 2015).

Bu çalışmada, yeşil tedarikçi seçim problemi için literatürde yaygın olarak kullanılan ÇKKV yöntemlerinden GİA ve AHP yöntemleri kullanılmıştır. Ayrıca, bir otomotiv ana sanayi işletmesinin yeşil tedarik zinciri optimizasyonuna destek olmak üzere yeşil tedarikçi seçimi gerçekleştirilmiştir. Kullanılan yöntemler ile elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Ayrıca karar vericilerin amaçlarına ve ana kriterlere bağlı olarak sonuçlardaki değişimin etkisini görmek üzere farklı senaryolar üzerinde duyarlılık analizi yapılmıştır. Bu çalışmanın katkıları şöyle özetlenebilir:

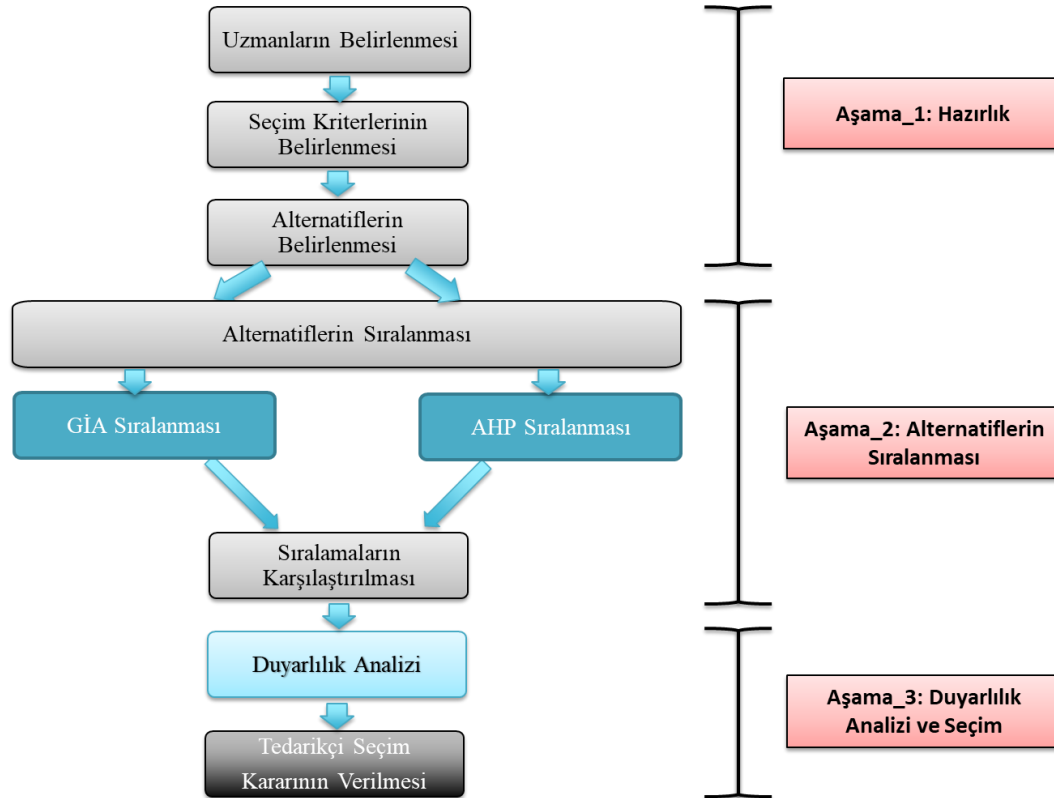
- Sürdürülebilirlik kriterleri dikkate alınarak önerilen GİA ve AHP yöntemleri ile tedarikçi seçimi gerçekleştirilmiştir.
- Problemin farklı kriter seçenekleri ve ağırlıkları içermesi durumunda çözüme olan etki duyarlılık analizi ile değerlendirilmiştir.

- Önerilen metodoloji, otomotiv sektörünün önde gelen ana sanayi işletmesine ait tedarikçi seçim probleminin çözümü için uygulanmıştır.

Çalışmanın bundan sonraki bölümünde yeşil tedarikçi seçimi problemini çözmek üzere kullanılacak metodoloji tanımlanmıştır. Üçüncü bölümde, otomobil ana sanayi işletmesine ait satın alma sürecinde karşılaşılan yeşil tedarikçi seçim problemi çözüm uygulaması bulunmaktadır. Dördüncü bölümde ise, farklı kriter ve karar verici kümeleri içeren senaryolar üzerinde duyarlılık analizi ile çözümlerdeki etki değerlendirilmiştir. Son olarak ise, elde edilen sonuçlar ve tartışma verilmiştir.

## 2. Metodoloji

Otomotiv ana sanayi işletmesine ait yeşil tedarikçi seçimi için önerilen üç aşamalı metodoloji Şekil 1'de özetlenmiştir. İlk aşamada, problem için uzmanlar, değerlendirme kriterleri ve alternatif tedarikçiler belirlenmelidir. İkinci aşamada, GİA ve AHP yöntemleri ile tedarikçi sıralamaları elde edilir ve kullanılan yöntemlerin sonuçları karşılaştırılır. Son aşamada, farklı senaryolar üzerinde duyarlılık analizi yapılmakta ve karar vericinin nihai seçimi yapması ile süreç tamamlanmaktadır.



Şekil 1. Önerilen metodolojinin adımları

### 2.1. Gri İlişkisel Analiz

Gri sistem teorisi, ilk defa 1982 yılında Prof. Julong Deng tarafından önerilen fikir ile ortaya çıkmıştır (Liu ve Lin, 2010). e-ISSN: 2148-2683

Gri sistem teorisinde, bilginin düzeyine göre, eğer sistem bilgisi tam olarak biliniyorsa sistem, beyaz sistem olarak adlandırılır; eğer sistem bilgisi bilinmiyorsa bu sisteme, siyah sistem denir. Bilinen kısmi bilgi ve bilinmeyen kısmi bilgi içeren bir sistem, gri sistemdir (Li vd., 2008). GİA yönteminin uygulama adımları aşağıda özetlenmiştir (Pitchipoo vd., 2015; Wu, 2002; Chan, 2008):

*Adım 1. Referans serilerinin oluşturulması:*  $X_0$  referans serileri, herbir kriter için en büyük değere sahiptir ve denklem 1 ile gösterilir:

$$X_0 = (x_0(1)x_0(2) \dots x_0(n)) \quad (1)$$

Burada  $x_i(j)$  değeri,  $i$ . alternatifin ( $i = 1,2, \dots, m$ )  $j$ . kriterini ( $j = 1,2, \dots, n$ ) ifade etmektedir. Referans serileri  $m \times n$  boyutundaki  $X$  kriter matrisi (denklem 2) ile gösterilebilir:

$$X = \begin{bmatrix} x_1(1) & x_1(2) & \dots & x_1(n) \\ x_2(1) & x_2(2) & \dots & x_2(n) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_m(1) & x_m(2) & \dots & x_m(n) \end{bmatrix} \quad (2)$$

*Adım 2. Verilerin normalize edilmesi:* Normalizasyon, daha sonraki analizler için verilerin farklı birim ve aralıklara sahip olduğu zaman bunları karşılaştırılabilir bir veriye dönüştürmek için gereklidir. Veriler üç şekilde işlenebilir; yani, daha büyük-daha iyidir, daha küçük-daha iyidir ve ideal değer-en iyisidir.

Veri değerlerinin büyük olması durumunda normalizasyon (denklem 3):

$$x_i^*(j) = \frac{x_i(j) - \min_j x_i(j)}{\max_j x_i(j) - \min_j x_i(j)} \quad (3)$$

Veri değerlerinin küçük olması durumunda normalizasyon (denklem 4):

$$x_i^*(j) = \frac{\max_j x_i(j) - x_i(j)}{\max_j x_i(j) - \min_j x_i(j)} \quad (4)$$

İdeal değer için daha en iyi olması durumunda normalizasyon (denklem 5):

$$x_i^*(j) = \frac{|x_i(j) - x_{0b}(j)|}{\max_j x_i(j) - x_{0b}(j)} \quad (5)$$

Burada  $x_{0b}(j)$  hedef değerdir ve  $\max_j x_i(j) \geq x_{0b}(j) \geq \min_j x_i(j)$  aralığında değer alır.

Orjinal veri, bu üç tip veri dönüşümü ile normalleştirildikten sonra  $X$  kriter matrisi denklem 6 ile verilen matris dönüşümündedir:

$$X_i^* = \begin{bmatrix} x_1^*(1) & x_1^*(2) & \dots & x_1^*(n) \\ x_2^*(1) & x_2^*(2) & \dots & x_2^*(n) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_m^*(1) & x_m^*(2) & \dots & x_m^*(n) \end{bmatrix} \quad (6)$$

*Adım 3. Mutlak değer tablosunun oluşturulması:*  $j$ . kriter için  $x_0^*$  ile  $x_i^*$  arasındaki mutlak fark  $\Delta_{0i}(j)$  denklem 7 ile belirlenir:

$$\Delta_{0i}(j) = |x_0^*(j) - x_i^*(j)| \quad (7)$$

$$= \begin{bmatrix} \Delta_{01}(1) & \Delta_{01}(2) & \dots & \Delta_{01}(n) \\ \Delta_{02}(1) & \Delta_{02}(2) & \dots & \Delta_{02}(n) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \Delta_{0m}(1) & \Delta_{0m}(2) & \dots & \Delta_{0m}(n) \end{bmatrix}$$

*Adım 4. Her bir kriter için gri ilişkisel katsayıların hesaplanması:* En iyi ve gerçek sonuçlar arasındaki ilişkiyi ifade etmek için normalleştirilmiş verilerden gri ilişkisel katsayı denklem 8 kullanılarak hesaplanır:

$$\gamma_{0i}(j) = \frac{\Delta_{min} + \xi \Delta_{max}}{\Delta_{0i}(j) + \xi \Delta_{max}} \quad (8)$$

Burada  $\Delta_{max} = \max_i \max_j \Delta_{0i}(j)$ ,  $\Delta_{min} = \min_i \min_j \Delta_{0i}(j)$  ve ayırt edici katsayı  $\xi \in [0,1]$ .

*Adım 5. Gri ilişki derecesinin hesaplanması:*  $i$ . alternatif için gri ilişki derecesi, gri ilişki katsayıları toplamının ortalamasıdır (denklem 9):

$$\Gamma_{0i} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \gamma_{0i}(j) \quad (9)$$

Eğer kriterler arasında eşit olmayan ağırlıklar söz konusuysa, gri ilişki katsayıları denklem 10 ile belirlenir:

$$\Gamma_{0i} = \sum_{j=1}^n \beta_j \gamma_{0i}(j) \quad (10)$$

Burada  $\beta_j$ ,  $j$ . kriterin ağırlığıdır ve  $\sum_{j=1}^n \beta_j = 1$ .

## 2.2. Analitik Hiyerarşi Proses

AHP, Saaty (1977, 1990) tarafından geliştirilen bir ÇKKV yaklaşımıdır. AHP yaklaşımı üç adımdan oluşmaktadır (Albayrak ve Erensal, 2004):

Adım 1: Karar hiyerarşisinin oluşturulması

Adım 2: Önceliklendirme süreci

Adım 3: Sonuçların hesaplanması

*Adım 1. Karar hiyerarşisinin oluşturulması:* AHP ile değerlendirilen problem için amaçlar, kriterler ve alternatifleri içeren bir hiyerarşi oluşturulur. Bir hiyerarşinin dört seviyesi vardır: Birinci seviyede problemin genel amacı, ikinci ve üçüncü seviyede ana ve alt kriterler, son seviyede ise karar alternatifleri bulunur (Albayrak ve Erensal, 2004).

*Adım 2. Önceliklendirme süreci:* Bu adımda hiyerarşinin her seviyesinde, kriterler ve alt kriterlerin kendi aralarındaki önem derecelerinin belirlenmesi için ikili olarak karşılaştırılarak ikili karşılaştırma karar matrisleri oluşturulur.  $n$  kriter için ikili karşılaştırma karar matrisi  $A$ , denklem 11 ile gösterilebilir (Dağdeviren, 2008):

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix}, \quad (11)$$

$$a_{ii} = 1, a_{ji} = 1/a_{ij}, a_{ij} \neq 0$$

Burada  $a_{ij}$  ( $i, j = 1, 2, \dots, n$ ) ikili karşılaştırma değerini ifade eder.

**Adım 3. Sonuçların hesaplanması:** Bu aşamada ilk olarak kriterler için ağırlıklar hesaplanmaktadır. Ağırlıklar, ikili karşılaştırma matrisinin en büyük özdeğerine ( $\lambda_{max}$ ) karşılık gelen normalize edilmiş ağırlık vektörü ( $w$ ) tarafından denklem 12 sağlanacak şekilde belirlenmektedir (Albayrak ve Erensal, 2004):

$$Aw = \lambda_{max}w \quad (12)$$

Karar vericilerin kriter karşılaştırması yaparken tutarsızlıkları oluşabilir. Bir karşılaştırma matrisinin tutarlı olup olmadığını hesaplamak için tutarlılık oranı kullanılır. Karşılaştırma matrisinin tutarlılığını belirlemek için denklem 13 ile hesaplanan tutarlılık oranı ( $CR$ ) kullanılır (Saaty, 1990):

$$CR = CI/RI \quad (13)$$

Burada  $CI$ , tutarlılık göstergesini,  $RI$  ise rassallık göstergesinin ifade etmektedir ve kriter sayısına göre değeri belirlenir.  $CI$  değeri ise denklem 14 ile hesaplanmaktadır:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (14)$$

Tutarlılık oranı ( $CR$ ), 0,10'un altında ise yapılan karşılaştırmanın tutarlı olduğu söylenir.

### 3. Yeşil Tedarikçi Seçimi Uygulaması

Her sektör dalında, işletmelerin karlı büyümeleri, başarı sağlamaları ve elde ettikleri başarıları sürdürülebilir hale getirmelerinde tedarikçilerinin payı çok yüksektir. Özellikle otomotiv sektöründe, çok farklı yapıda ve sayıda malzemeye ihtiyaç duyulduğu için çok fazla sayıda da tedarikçiye ihtiyaç duyulmaktadır. Otomotiv işletmeleri yeni üretimine başladığı bir model seri üretimine uzunca bir süre devam ettiği için, istenilen

kriterlere uygun doğru tedarikçi ile uzun yıllar çalışılması çok önemlidir. Bu nedenle işletmelerin proje dönemlerinde tedarikçi seçerken kriterlerini sürecin en başında ve önceliklerine göre doğru şekilde belirlemeleri gerekmektedir. Sonrasında alternatifler arasından seçilen kriterlere göre işbirliği kuracakları tedarikçileri belirlemeleri gerekmektedir.

Bu çalışma kapsamında, otomotiv sektöründeki bir ana sanayi işletmesinde otomobilin ana iskeletini oluşturan ve yolcunun güvenliği için önem taşıyan sac parçaların üretimini sağlayacak tedarikçinin seçimi gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla öncelikle uygulamanın gerçekleştirildiği ana sanayi işletmesinin satın alma departmanı çalışanları ve yöneticilerden oluşan toplam on kişilik ( $E_1, E_2, E_3, E_4, E_5, E_6, E_7, E_8, E_9, E_{10}$ ) uzman grubu oluşturulmuş ve süreç boyunca bu kişilerin bilgilerine başvurulmuştur.

Uygulamada toplam altı tedarikçi ( $A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, A_6$ ), ana kriterler ( $K_1, K_2, K_3, K_8, K_9, K_{10}$ ) ve alt kriterler ( $K_4, K_5, K_6, K_7$ ) ile değerlendirilmektedir. Ana kriterden dört tanesi subjektif, üç tanesi ise objektif kriterlerdir. Ana kriterler ve alt kriterler hiyerarşisi Şekil 2'de verilmektedir. Tüm değerlendirme kriterlerinin tanımı Tablo 2'de özetlenmiştir.

#### 3.1. GİA Yöntemi ile Yeşil Tedarikçi Seçimi

GİA yönteminin birinci adımına göre referans serisi oluşturabilmek için öncelikle uzmanlar grubuna tedarikçilerin subjektif kriterlerin göre değerlendirilmesi için anket uygulanmıştır. Objektif kriterlerin değerleri ise gerçek verilere dayanan bilgilerden alınmıştır. Uzmanların anketi cevaplama sürecinde subjektif kriterleri değerlendirilmesinde Tablo 3'deki gri sayı skalası kullanılmıştır. Objektif kriterler ise Tablo 4'de verilen skalaya göre puanlanmıştır. Uzmanların subjektif kriterlere göre değerlendirme sonuçları Tablo 5'de ve objektif kriterlere göre değerlendirilme sonuçları Tablo 6'da verilmiştir. Elde edilen veriler kullanılarak referans serisi oluşturulmuş ve yöntemin ikinci adımına göre bu değerler normalize edilmiştir. Normalizasyon değerleri Tablo 7'de görülmektedir.



Şekil 2. Ana ve alt kriterler



Tablo 2. Yeşil tedarikçi seçimi kriter tanımları

Kriter no	Kriter adı	Tanım
$K_1$	Rekabetçilik	En düşük fiyatı sağlama ve uzun vadede en çok indirim oranını verme
$K_2$	Geçmiş deneyim	Tedarikçilerle uzun yıllardır çalışmasıyla oluşan geçmiş deneyimleri, o işletme ile yaşanan tecrübeler
$K_3$	Teknik esneklik	Satın alma yapılacak malzemenin, tedarikçinin bu malzemeyi yapabilirliği, uygun üretim hatlarının olması ve o parçayla ilgili tecrübeleri
$K_4$	Yeşil proses yönetimi	Çevre üzerindeki doğrudan etkilerinin yanı sıra değer zincirinin bütününde oluşan dolaylı çevresel etkilerin de kontrol altına alınması ve mümkün olan en düşük seviyeye çekmesi
$K_5$	Atık yönetimi	Faaliyetlerinden kaynaklanan atıkları kaynağında azaltması ve mümkün olduğunca atıkların geri kazanılması. Malzeme kullanımının azaltılması, geri dönüştürülmüş ve geri dönüştürülebilir malzeme kullanımı ve oluşan atıkların tamamının geri kazanılmasına yönelik çalışılması
$K_6$	Kaynak kullanımı	Ekosistemin devamlılığı için doğal kaynakların kendini yenileme kapasitesini korumak amacıyla sorumlu kaynak kullanımı. Yenilenebilir enerji kullanımı, verimli su tüketimi ve atıkların geri kazanımı ile çevresel etkilerin azaltılması
$K_7$	Sürdürülebilirlik	Sürdürülebilir kalkınma yaklaşımı çerçevesinde, ekonomik, çevresel ve toplumsal boyutlarıyla bugünden geleceğe uyumlu bir planlama yapılması
$K_8$	Finansal durum	Uzun vadeli kurulan ilişkinin devamlılığı sağlamak için işletmenin finansal durumu (İşletmeye yapılan finansal denetim sonucu alınan puan)
$K_9$	ISO 14001 belgesine sahip olma	Tedarikçinin ISO 14001 belgesinin olması durumu
$K_{10}$	Kalite performansı	Tedarikçinin bir yıl boyunca ana sanayiye sevk ettiği parçalardan elde ettiği kalite puanlarının toplamı

Tablo 3. Subjektif kriterler için değerlendirme skalası (Li vd., 2008)

Skala	Gri sayı karşılığı
Çok Zayıf (VP)	[0, 1]
Zayıf (P)	[1, 3]
Orta Derecede Zayıf (MP)	[3, 4]
Ortalama (F)	[4, 5]
Orta Derecede İyi (MG)	[5, 6]
İyi (G)	[6, 9]
Çok İyi (VG)	[9, 10]

Tablo 4. Objektif kriterler için değerlendirme skalası

Kriter	Puan aralığı
Finansal durum	[1, 3]
ISO 14001 belgesine sahip olma	[0, 1]
Kalite performansı	[0, 100]

Tablo 5. Subjektif kriterler için uzmanların değerlendirme sonuçları

Kriter no	Uzmanlar	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$	$A_5$	$A_6$
$K_1$	$E_1$	G	G	G	G	MG	G
	$E_2$	G	MG	MG	G	VG	G
	$E_3$	P	G	P	G	P	MG
	$E_4$	F	F	MG	G	F	G
	$E_5$	MG	MG	F	F	F	MP
	$E_6$	MG	MG	G	G	MG	MG
	$E_7$	G	G	F	F	MP	F
	$E_8$	VG	G	F	F	F	F
	$E_9$	VG	G	MG	MG	MP	MP
	$E_{10}$	G	VG	F	MG	MG	MP
$E_1$	G	G	G	G	MG	G	

K <sub>2</sub>	E <sub>2</sub>	VG	VG	VG	VG	G	VG
	E <sub>3</sub>	VP	F	P	G	P	G
	E <sub>4</sub>	G	G	G	G	MP	MG
	E <sub>5</sub>	G	VG	MG	MG	MG	F
	E <sub>6</sub>	VG	VG	VG	G	G	MG
	E <sub>7</sub>	G	G	VG	G	G	F
	E <sub>8</sub>	VG	G	VG	G	G	F
	E <sub>9</sub>	VG	G	G	G	G	MG
	E <sub>10</sub>	G	VG	G	VG	G	MG
	K <sub>3</sub>	E <sub>1</sub>	G	G	G	G	MG
E <sub>2</sub>		VG	VG	VG	VG	G	G
E <sub>3</sub>		G	P	P	VG	VP	P
E <sub>4</sub>		G	G	MG	F	MP	F
E <sub>5</sub>		VG	G	G	G	F	F
E <sub>6</sub>		VG	VG	VG	G	G	MG
E <sub>7</sub>		G	G	G	MG	MG	MP
E <sub>8</sub>		G	MG	MG	F	F	F
E <sub>9</sub>		G	MG	G	MG	F	MP
E <sub>10</sub>		G	G	G	MG	MG	MP
K <sub>4</sub>	E <sub>1</sub>	G	G	G	G	G	F
	E <sub>2</sub>	P	P	P	P	P	P
	E <sub>3</sub>	F	F	MP	G	P	P
	E <sub>4</sub>	P	MP	P	P	P	P
	E <sub>5</sub>	MG	MG	F	MG	MG	F
	E <sub>6</sub>	G	G	G	G	G	G
	E <sub>7</sub>	G	G	G	MG	P	P
	E <sub>8</sub>	VG	VG	G	G	MP	P
	E <sub>9</sub>	VG	VG	MG	MG	P	MP
	E <sub>10</sub>	G	VG	G	MG	P	MP
K <sub>5</sub>	E <sub>1</sub>	G	G	G	G	G	F
	E <sub>2</sub>	G	G	G	G	G	G
	E <sub>3</sub>	F	F	P	MG	P	P
	E <sub>4</sub>	P	MP	P	P	P	P
	E <sub>5</sub>	G	G	G	G	G	MG
	E <sub>6</sub>	G	G	G	G	G	G
	E <sub>7</sub>	G	G	G	F	MG	F
	E <sub>8</sub>	VG	G	G	F	MG	F
	E <sub>9</sub>	VG	G	MG	F	MG	F
	E <sub>10</sub>	G	G	G	G	MG	F
K <sub>6</sub>	E <sub>1</sub>	G	G	G	G	G	F
	E <sub>2</sub>	MG	MG	MG	MG	MG	MG
	E <sub>3</sub>	F	F	MP	G	P	P
	E <sub>4</sub>	P	MP	P	P	P	P
	E <sub>5</sub>	G	G	G	G	G	MG
	E <sub>6</sub>	G	G	G	G	G	G
	E <sub>7</sub>	G	G	G	F	F	F
	E <sub>8</sub>	VG	G	G	MG	F	F
	E <sub>9</sub>	VG	G	VG	F	F	F
	E <sub>10</sub>	VG	VG	G	MG	MG	F
K <sub>7</sub>	E <sub>1</sub>	G	G	G	G	G	F
	E <sub>2</sub>	G	G	G	G	G	G
	E <sub>3</sub>	F	F	F	F	VP	MP
	E <sub>4</sub>	P	MP	P	P	P	P
	E <sub>5</sub>	G	G	G	G	G	G
	E <sub>6</sub>	G	G	G	G	G	G
	E <sub>7</sub>	G	G	G	F	F	F
	E <sub>8</sub>	VG	G	G	MG	F	F
	E <sub>9</sub>	G	G	VG	F	F	F
	E <sub>10</sub>	G	VG	G	MG	MG	F

Tablo 6. Objektif kriterler için uzmanların değerlendirme sonuçları

Kriter no	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>	A <sub>6</sub>
K <sub>8</sub>	3	2	2	1	1	3
K <sub>9</sub>	1	1	1	1	1	1
K <sub>10</sub>	96	100	91	98	100	99

Tablo 7. Normalize edilmiş değerler

Kriter no	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>	A <sub>6</sub>
K <sub>1</sub>	0,92	1,00	0,15	0,69	0,00	0,23
K <sub>2</sub>	0,80	1,00	0,33	0,85	0,08	0,00
K <sub>3</sub>	1,00	0,67	0,67	0,59	0,07	0,00
K <sub>4</sub>	0,89	1,00	0,65	0,68	0,08	0,00
K <sub>5</sub>	1,00	0,89	0,64	0,49	0,38	0,00
K <sub>6</sub>	1,00	0,90	0,80	0,49	0,24	0,00
K <sub>7</sub>	0,92	1,00	0,92	0,31	0,05	0,00
K <sub>8</sub>	1,00	0,50	0,50	0,00	0,00	1,00
K <sub>9</sub>	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
K <sub>10</sub>	0,56	1,00	0,00	0,78	1,00	0,89

Yöntemin üçüncü adımında mutlak değer tablosu oluşturulmuş, sonrasında dördüncü adımda her kriter için referans seri ile mevcut normalize edilmiş seri arasındaki ilişkiyi gösteren gri ilişkisel katsayıları hesaplanmış ve bu değerler Tablo 8’de verilmiştir. Son olarak beşinci adıma göre en yüksek gri ilişkisel katsayılarından oluşan dizi, optimum tedarikçi seçim sırasını

oluşturmuştur. Her tedarikçinin gri ilişkisel notu Tablo 9’da gösterilmektedir.

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, en iyi tedarikçi A<sub>1</sub> olmuştur. Alternatifler en iyiden en kötüye sıralandığında, A<sub>1</sub> > A<sub>2</sub> > A<sub>3</sub> > A<sub>4</sub> > A<sub>6</sub> > A<sub>5</sub> sırası elde edilmektedir.

Tablo 8. Gri ilişkisel katsayılar

Kriter no	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>	A <sub>6</sub>
K <sub>1</sub>	0,87	1,00	0,37	0,62	0,33	0,39
K <sub>2</sub>	0,71	1,00	0,43	0,77	0,35	0,33
K <sub>3</sub>	1,00	0,60	0,60	0,55	0,35	0,33
K <sub>4</sub>	0,83	1,00	0,59	0,61	0,35	0,33
K <sub>5</sub>	1,00	0,82	0,58	0,49	0,45	0,33
K <sub>6</sub>	1,00	0,84	0,72	0,50	0,40	0,33
K <sub>7</sub>	0,87	1,00	0,87	0,42	0,35	0,33
K <sub>8</sub>	1,00	0,50	0,50	0,33	0,33	1,00
K <sub>9</sub>	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
K <sub>10</sub>	0,53	1,00	0,33	0,69	1,00	0,82

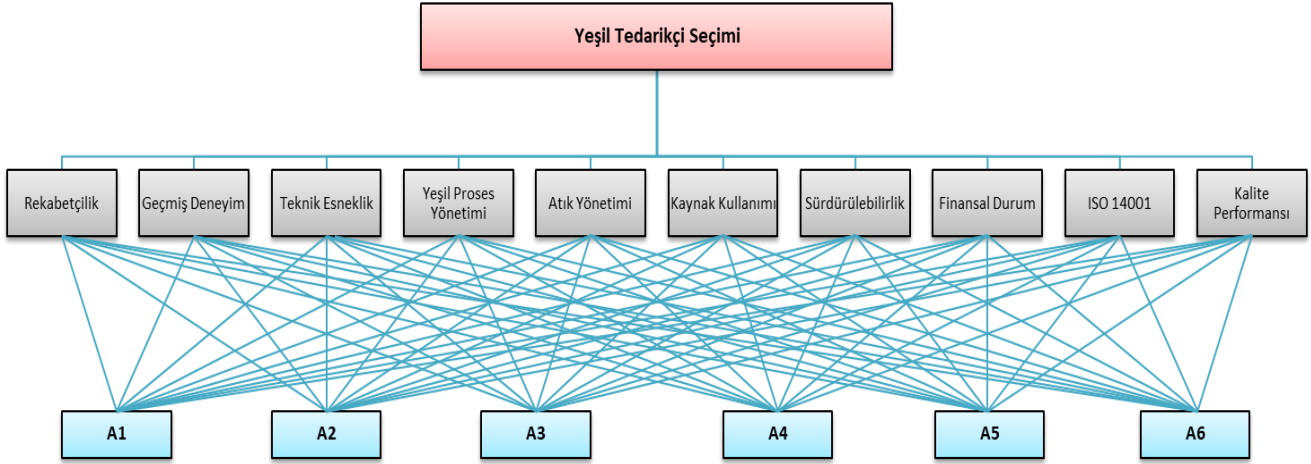
Tablo 9. Gri ilişkisel notlar

Tedarikçi	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>	A <sub>6</sub>
Puan	1,100	1,095	0,748	0,748	0,613	0,652

### 3.2. AHP Yöntemi ile Yeşil Tedarikçi Seçimi

Yeşil tedarikçi seçim problemi için uygulanan AHP sürecindeki ilk adım olan karar hiyerarşisi Şekil 3’de oluşturulmuştur. Sürecin ikinci adımında uzmanlar tarafından yapılan değerlendirmeler kullanılarak Tablo 10’da verilen ikili karşılaştırmalar matrisi belirlenmiştir. Uzmanlar tarafından verilen kararların tutarlılığını kontrol edilmesi için tutarlılık oranı hesaplanmış ve bu değer %7 olduğu bulunmuştur. Bu değer %10’dan az olması, karar matrisinin yeterince tutarlı olduğunu

göstermektedir. Son olarak elde edilen sonuç vektörü Tablo 11’de gösterilmiştir. Alternatif tedarikçiler için A<sub>1</sub> > A<sub>2</sub> > A<sub>3</sub> > A<sub>4</sub> > A<sub>6</sub> > A<sub>5</sub> sıralaması elde edilmektedir. GİA ve AHP sıralamalarının benzerliğini tespit etmek üzere Spearman sıra korelasyon katsayısı ( $\rho$ ) ve Kendall sıra korelasyon katsayısı ( $\tau$ ) hesaplanmış ve her iki benzerlik katsayısı değerinin bire eşit olduğu bulunmuştur. Bu elde edilen sıralamaların ile aynı olduğunu göstermektedir.



Şekil 3. Yeşil tedarikçi seçimi için analitik hiyerarşi prosesinin yapısı

Tablo 10. İkili karşılaştırmalar matrisi

Kriter no	$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_4$	$K_5$	$K_6$	$K_7$	$K_8$	$K_9$	$K_{10}$
$K_1$	1,00	3,00	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33
$K_2$	0,33	1,00	0,33	0,20	0,20	0,20	0,20	0,14	0,20	0,20
$K_3$	3,00	3,00	1,00	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,50
$K_4$	3,00	5,00	3,00	1,00	2,00	2,00	2,00	0,50	2,00	2,00
$K_5$	3,00	5,00	3,00	0,50	1,00	2,00	2,00	0,50	2,00	2,00
$K_6$	3,00	5,00	3,00	0,50	0,50	1,00	2,00	0,50	2,00	2,00
$K_7$	3,00	5,00	3,00	0,50	0,50	0,50	1,00	0,50	2,00	2,00
$K_8$	3,00	7,00	3,00	2,00	2,00	2,00	2,00	1,00	3,00	2,00
$K_9$	3,00	5,00	3,00	0,50	0,50	0,50	0,50	0,33	1,00	2,00
$K_{10}$	3,00	5,00	2,00	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	1,00

Tablo 11. AHP yöntemi sonuçları

Tedarikçi	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$	$A_5$	$A_6$
Puan	0,283	0,269	0,143	0,119	0,077	0,109

#### 4. Duyarlılık Analizi ve Sonuçlar

Duyarlılık analizi ile girdi değerleri değiştirilerek karar üzerindeki etkilerini değerlendirilebilmektedir (Shen vd., 2013; Haeri ve Rezaei, 2019). GİA yöntemiyle elde edilmiş sonuçların farklı senaryolar üzerinde oluşan etkileri görmek için duyarlılık analizi uygulanmıştır. Tablo 12’de görüleceği gibi altı farklı senaryo ile duyarlılık analizi yapılmıştır. İlk üç senaryoda bazı kriterlerin dikkate alınmasının etkisini incelemek üzere kriter kümesinde değişiklik yapılmış ve tüm uzmanların verdiği cevaplar değerlendirmelerde dikkate alınmıştır. Senaryo 1’de sadece çevre kriterleri tedarik seçiminde dikkate alınmıştır. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, en iyi tedarikçi 0,938 gri ilişkisel notu ile  $A_1$  olmuştur. Senaryo 2 için tüm uzmanların sadece fiyat ve kalite kriterlerine verdikleri cevaplar ve gri sayı karşılıkları işleme alınmıştır. Bu senaryo için iyi tedarikçi 0,833 gri ilişkisel notu ile  $A_1$  olmuştur. Senaryo 3 için çevre kriterleri dışındaki tüm kriterler senaryoya dâhil edilmiştir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, en iyi tedarikçi 0,822 gri ilişkisel notu ile  $A_1$  olmuştur. Senaryo 4 için ilk beş uzmanın sonuçları senaryoya dâhil edilmiştir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, en iyi tedarikçi 0,822 gri ilişkisel notu ile  $A_4$  olmuştur. Senaryo 5 için son beş uzmanın sonuçları senaryoya dâhil edilmiştir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, en iyi tedarikçi 0,94 gri ilişkisel notu ile  $A_1$  olmuştur. Senaryo 6’da, tedarikçi seçimine olan etkisini belirleyebilmek için uzmanlara öncelik değerleri verilmiştir.  $E_2$  uzmanı için 0,3 etki puanına, diğer uzmanların ise eşit etkiye sahip olduğu varsayılmıştır. Elde

$A_2$  olmuştur. Senaryo 3 için çevre kriterleri dışındaki tüm kriterler senaryoya dâhil edilmiştir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, en iyi tedarikçi 0,822 gri ilişkisel notu ile  $A_1$  olmuştur.

Son üç senaryoda ise uzmanların etkisini görebilmek için uzmanlar kümesinde değişiklik yapılmıştır ve başlangıçta kullanılan tüm kriterler kümesi dikkate alınmıştır. Senaryo 4 için ilk beş uzmanın sonuçları senaryoya dâhil edilmiştir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, en iyi tedarikçi 0,822 gri ilişkisel notu ile  $A_4$  olmuştur. Senaryo 5 için son beş uzmanın sonuçları senaryoya dâhil edilmiştir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, en iyi tedarikçi 0,94 gri ilişkisel notu ile  $A_1$  olmuştur. Senaryo 6’da, tedarikçi seçimine olan etkisini belirleyebilmek için uzmanlara öncelik değerleri verilmiştir.  $E_2$  uzmanı için 0,3 etki puanına, diğer uzmanların ise eşit etkiye sahip olduğu varsayılmıştır. Elde

edilen sonuçlar incelendiğinde, en iyi tedarikçi 0,897 gri ilişkisel notu ile  $A_1$  olmuştur.

Her bir senaryoda tedarikçilerin aldığı gri ilişkisel not, elde edilen sıralama sonuçları ve sıra korelasyon katsayı değerleri Tablo 13’de özetlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, Senaryo 2 ve Senaryo 4 zayıf korelasyona sahip sıralamalardır. Senaryo 2’de uygulanan klasik tedarikçi seçimi kriterleri, olması gereken

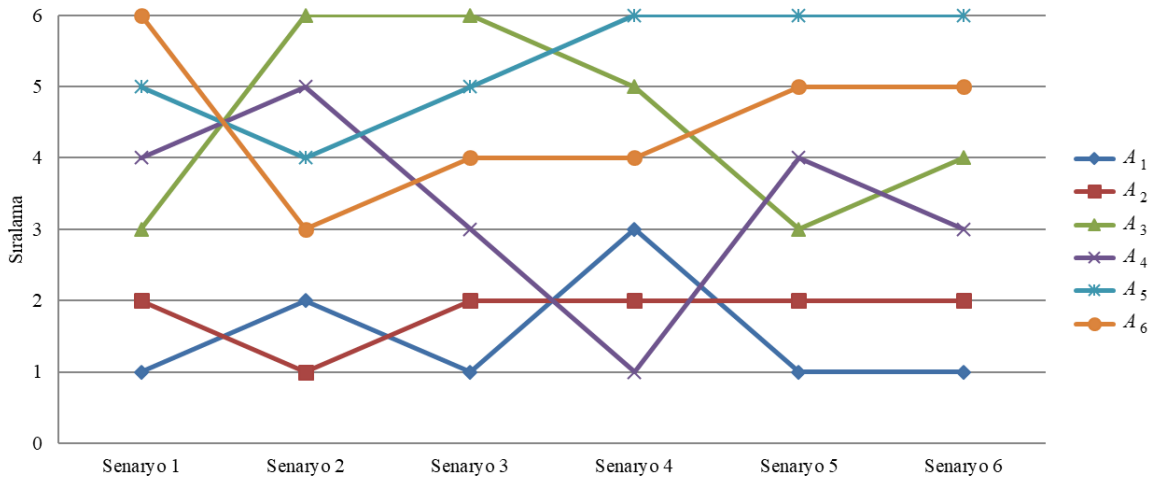
tedarikçiden farklı bir tedarikçiye seçim yapılmasına neden olmuştur. Bir diğer önemli sonuç ise sürece dâhil edilen uzmanların etkisidir. Senaryo 4 ile elde edilen sonuca göre, mevcut çözüm ve diğer senaryolarda 3. veya 4. sırada yer alan  $A_4$  tedarikçisi, bu senaryo ile en iyi tedarikçi olarak yer almıştır. Tedarikçilerin senaryolar bazında yer aldıkları sıralama sonuçları Şekil 4’de gösterilmektedir.

Tablo 12. Senaryolar

Senaryolar	Karar kriterleri	Uzmanlar (ağırlık)
Senaryo 1	Sadece çevre kriterleri	$E_1, E_2, E_3, E_4, E_5, E_6, E_7, E_8, E_9, E_{10}$
Senaryo 2	Sadece fiyat ve kalite	$E_1, E_2, E_3, E_4, E_5, E_6, E_7, E_8, E_9, E_{10}$
Senaryo 3	Çevre kriterleri hariç diğer kriterler	$E_1, E_2, E_3, E_4, E_5, E_6, E_7, E_8, E_9, E_{10}$
Senaryo 4	Tüm kriterler	$E_1, E_2, E_3, E_4, E_5$
Senaryo 5	Tüm kriterler	$E_6, E_7, E_8, E_9, E_{10}$
Senaryo 6	Tüm kriterler	$E_2 (0,3)$ $E_1, E_3, E_4, E_5, E_6, E_7, E_8, E_9, E_{10}$ (eşit)

Tablo 13. Senaryolar için gri ilişkisel notlar, sıralama ve korelasyon sonuçları

Senaryolar	Gri ilişkisel notları						Sıralama sonucu	$\rho$	$\tau$
	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$	$A_5$	$A_6$			
Senaryo 1	0,938	0,932	0,751	0,604	0,508	0,467	$A_1 > A_2 > A_3 > A_4 > A_5 > A_6$	0,943	0,867
Senaryo 2	0,799	0,833	0,402	0,548	0,556	0,737	$A_2 > A_1 > A_6 > A_5 > A_4 > A_3$	0,429	0,200
Senaryo 3	0,822	0,820	0,446	0,593	0,474	0,576	$A_1 > A_2 > A_4 > A_6 > A_5 > A_3$	0,714	0,600
Senaryo 4	0,711	0,815	0,544	0,822	0,517	0,580	$A_4 > A_2 > A_1 > A_6 > A_3 > A_5$	0,257	0,067
Senaryo 5	0,940	0,820	0,646	0,524	0,515	0,516	$A_1 > A_2 > A_3 > A_4 > A_6 > A_5$	1	1
Senaryo 6	0,897	0,851	0,603	0,613	0,501	0,530	$A_1 > A_2 > A_4 > A_3 > A_6 > A_5$	0,943	0,867



Şekil 4. Senaryo bazında tedarikçi sıralaması

## 5. Tartışma

Bu çalışmada, klasik tedarikçi seçim yaklaşımlardan farklı olarak yeşil üretim kriteri ana kriterlerden biri olarak çalışmaya dâhil edilerek yeşil tedarikçi seçim problemi ele alınmıştır. Ayrıca bir otomotiv endüstrisi ana sanayi işletmesinin problemi üzerinde uygulama gerçekleştirilmiştir. Otomotiv sektörünün maliyetlerini azaltarak en uygun tercihlerin yapılabilmesi sağlamak üzere bilimsel bir karar süreci gerçekleştirilmiştir. Hem subjektif hem de objektif kriterler seçim sürecinde yer almasından dolayı ÇKKV yöntemlerinden olan GİA yöntemi probleme uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar AHP yöntemi ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Aynı zamanda tedarikçi seçim probleminde karar verici ve kriter kümesinin farklı olmasının seçim süreci sonucunu nasıl etkilediğini belirlemek üzere farklı senaryolar üzerinde duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir. Analiz sonucunda, klasik tedarikçi seçim kriterleri olan fiyat ve kalite ile karar verildiğinde, tedarikçi sıralaması değişebildiği gözlenmiştir. Buradan yeşil olma kriterinin değerlendirme sürecinde yer almasının çok önemli olduğu ve sonuçları etkilediği değerlendirilmiştir. Bu nedenle sürecin en başında kriterlerin amaca uygun şekilde belirlenmesinin çok önemli olduğu görülmektedir. Senaryolar ile elde edilen bir diğer önemli sonuç ise; sürece dâhil edilen karar vericilerin sayısının ve ağırlıklarının sıralama sonucunu değiştirebilmesidir. Uzmanlık bilgi seviyelerine ve tecrübelerine göre karar vericilere farklı ağırlıklar verilerek daha uygun sıralama sonuçları elde edilebilir.

Tedarikçi seçimlerinde yeşil olma kriterini dikkate alan ana sanayi işletmeleri tedarikçilerini bu yolla yeşil üretim yapmaları konusunda yönlendirmektedir. Böylece tedarikçilerinin de üretim süreçlerinde çevresel etkileri azaltmasını ve bu konulardaki performanslarını iyileştirmelerini sağlamış olacaklardır. Kısaca tedarikçilerinin de sürdürülebilirlik kavramı ile üretim yapmalarına destek olacaklardır.

Gelecekte yapılacak çalışmalarda, önerilen çözüm süreci aynı veya farklı sektörlerdeki işletmelerin tedarikçi seçim süreçlerinde kullanılabilir. Ayrıca belirlenen amaçlara uygun olarak farklı kriter kümeleri tercih edilebilir. Karar vericilerin sürece katkıları da uzmanlık seviyelerine ve tecrübelerine göre farklı şekilde belirlenebilir.

## 6. Teşekkür

Bu çalışmaya gösterdikleri değerli ilgi ve katkıları için uygulamanın gerçekleştirildiği otomotiv ana sanayi işletmesi çalışanlarına ve yöneticilerine sonsuz teşekkürlerimizi sunarız.

## Kaynakça

Albayrak, E., & Erensal, Y. C. (2004). Using analytic hierarchy process (AHP) to improve human performance: An application of multiple criteria decision making problem. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 15(4), 491-503.

Awasthi, A., & Kannan, G. (2016). Green supplier development program selection using NGT and VIKOR under fuzzy environment. *Computers & Industrial Engineering*, 91, 100-108.

Babbar, C., & Amin, S. H. (2018). A multi-objective mathematical model integrating environmental concerns for supplier selection and order allocation based on fuzzy QFD in beverages industry. *Expert Systems with Applications*, 92, 27-38.

Banaeian, N., Mobli, H., Fahimnia, B., Nielsen, I. E., & Omid, M. (2018). Green supplier selection using fuzzy group decision

making methods: A case study from the agri-food industry. *Computers & Operations Research*, 89, 337-347.

Büyüközkan, G. (2012). An integrated fuzzy multi-criteria group decision-making approach for green supplier evaluation. *International Journal of Production Research*, 50(11), 2892-2909.

Cao, Q., Wu, J., & Liang, C. (2015). An intuitionistic fuzzy judgement matrix and TOPSIS integrated multi-criteria decision making method for green supplier selection. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 28(1), 117-126.

Chan, J. W. (2008). Product end-of-life options selection: grey relational analysis approach. *International Journal of Production Research*, 46(11), 2889-2912.

Dağdeviren, M. (2008). Decision making in equipment selection: an integrated approach with AHP and PROMETHEE. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 19(4), 397-406.

Dweiri, F., Kumar, S., Khan, S. A., & Jain, V. (2016). Designing an integrated AHP based decision support system for supplier selection in automotive industry. *Expert Systems with Applications*, 62, 273-283.

Fallahpour, A., Olugu, E. U., Musa, S. N., Khezrimotlagh, D., & Wong, K. Y. (2016). An integrated model for green supplier selection under fuzzy environment: application of data envelopment analysis and genetic programming approach. *Neural Computing and Applications*, 27(3), 707-725.

Genovese, A., Lenny Koh, S. C., Bruno, G., & Esposito, E. (2013). Greener supplier selection: state of the art and some empirical evidence. *International Journal of Production Research*, 51(10), 2868-2886.

Govindan, K., Rajendran, S., Sarkis, J., & Murugesan, P. (2015). Multi criteria decision making approaches for green supplier evaluation and selection: A literature review. *Journal of Cleaner Production*, 98, 66-83.

Govindan, K., Kadziński, M., & Sivakumar, R. (2017). Application of a novel PROMETHEE-based method for construction of a group compromise ranking to prioritization of green suppliers in food supply chain. *Omega*, 71, 129-145.

Grisi, R. M., Guerra, L., & Naviglio, G. (2010). Supplier performance evaluation for green supply chain management, In P. Taticchi, *Business Performance Measurement and Management* (pp. 149-163), Berlin, Heidelberg: Springer.

Gupta, H., & Barua, M. K. (2017). Supplier selection among SMEs on the basis of their green innovation ability using BWM and fuzzy TOPSIS. *Journal of Cleaner Production*, 152, 242-258.

Gupta, S., Soni, U., & Kumar, G. (2019). Green supplier selection using multi-criterion decision making under fuzzy environment: A case study in automotive industry. *Computers & Industrial Engineering*, 136, 663-680.

Haeri, S. A. S., & Rezaei, J. (2019). A grey-based green supplier selection model for uncertain environments. *Journal of Cleaner Production*, 221, 768-784.

Hamdan, S., & Cheaitou, A. (2017). Dynamic green supplier selection and order allocation with quantity discounts and varying supplier availability. *Computers & Industrial Engineering*, 110, 573-589.

Hashemi, S. H., Karimi, A., Aghakhani, N., & Kalantar, P. (2014). A grey-based carbon management model for green supplier selection. *Journal of Grey System*, 26(2), 124-131.

Hashemi, S. H., Karimi, A., & Tavarna, M. (2015). An integrated green supplier selection approach with analytic network process and improved Grey relational analysis. *International Journal of Production Economics*, 159, 178-191.

Hsu, C. W., Kuo, T. C., Chen, S. H., & Hu, A. H. (2013). Using DEMATEL to develop a carbon management model of supplier selection in green supply chain management. *Journal of Cleaner Production*, 56, 164-172.

- Humphreys, P. K., Wong, Y. K., & Chan, F. T. S. (2003). Integrating environmental criteria into the supplier selection process. *Journal of Materials Processing Technology*, 138(1-3), 349-356.
- Igarashi, M., de Boer, L., & Fet, A. M. (2013). What is required for greener supplier selection? A literature review and conceptual model development. *Journal of Purchasing and Supply Management*, 19(4), 247-263.
- IPCC (2014). *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change*. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY: USA.
- Jain, V., Kumar, S., Kumar, A., & Chandra, C. (2016). An integrated buyer initiated decision-making process for green supplier selection. *Journal of Manufacturing Systems*, 41, 256-265.
- Kahraman, C., Cebeci, U., & Ulukan, Z. (2003). Multi-criteria supplier selection using fuzzy AHP. *Logistics Information Management*, 16(6), 382-394.
- Kannan, D., de Sousa Jabbour, A. B. L., & Jabbour, C. J. C. (2014). Selecting green suppliers based on GSCM practices: Using fuzzy TOPSIS applied to a Brazilian electronics company. *European Journal of Operational Research*, 233(2), 432-447.
- Kannan, D., Govindan, K., & Rajendran, S. (2015). Fuzzy axiomatic design approach based green supplier selection: A case study from Singapore. *Journal of Cleaner Production*, 96, 194-208.
- Kannan, D., Khodaverdi, R., Olfat, L., Jafarian, A., & Diabat, A. (2013). Integrated fuzzy multi criteria decision making method and multi-objective programming approach for supplier selection and order allocation in a green supply chain. *Journal of Cleaner Production*, 47, 355-367.
- Kumar, S., Teichman, S., & Timpernagel, T. (2012). A green supply chain is a requirement for profitability. *International Journal of Production Research*, 50(5), 1278-1296.
- Kuo, R. J., Wang, Y. C., & Tien, F. C. (2010). Integration of artificial neural network and MADA methods for green supplier selection. *Journal of Cleaner Production*, 18(12), 1161-1170.
- Kuo, Y., Yang, T., & Huang, G. W. (2008). The use of grey relational analysis in solving multiple attribute decision-making problems. *Computers & Industrial Engineering*, 55(1), 80-93.
- Lee, A. H., Kang, H. Y., Hsu, C. F., & Hung, H. C. (2009). A green supplier selection model for high-tech industry. *Expert Systems with Applications*, 36(4), 7917-7927.
- Li, G. D., Yamaguchi, D., & Nagai, M. (2008). A grey-based rough decision-making approach to supplier selection. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 36(9-10), 1032.
- Liu, S., & Lin, Y. (2010). Introduction to grey systems theory. In *Grey Systems. Understanding Complex Systems*, vol 68. (pp. 1-18). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Lu, L. Y., Wu, C. H., & Kuo, T. C. (2007). Environmental principles applicable to green supplier evaluation by using multi-objective decision analysis. *International Journal of Production Research*, 45(18-19), 4317-4331.
- Montoya-Torres, J. R., Gutierrez-Franco, E., & Blanco, E. E. (2015). Conceptual framework for measuring carbon footprint in supply chains. *Production Planning & Control*, 26(4), 265-279.
- Pitchipoo, P., Venkumar, P., & Rajakarunakaran, S. (2015). Grey decision model for supplier evaluation and selection in process industry: A comparative perspective. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 76(9-12), 2059-2069.
- Qin, J., Liu, X., & Pedrycz, W. (2017). An extended TODIM multi-criteria group decision making method for green supplier selection in interval type-2 fuzzy environment. *European Journal of Operational Research*, 258(2), 626-638.
- Rajesh, R., & Ravi, V. (2015). Supplier selection in resilient supply chains: a grey relational analysis approach. *Journal of Cleaner Production*, 86, 343-359.
- Roshandel, J., Miri-Nargesi, S. S., & Hatami-Shirkouhi, L. (2013). Evaluating and selecting the supplier in detergent production industry using hierarchical fuzzy TOPSIS. *Applied Mathematical Modelling*, 37(24), 10170-10181.
- Saaty, T. L. (1977). A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of Mathematical Psychology*, 15(3), 234-281.
- Saaty, T. L. (1990). How to make a decision: the analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research*, 48(1), 9-26.
- Shen, L., Olfat, L., Govindan, K., Khodaverdi, R., & Diabat, A. (2013). A fuzzy multi criteria approach for evaluating green supplier's performance in green supply chain with linguistic preferences. *Resources, Conservation and Recycling*, 74, 170-179.
- Şişman, B. (2016). Bulanık MOORA yöntemi kullanılarak yeşil tedarikçi geliştirme programlarının seçimi ve değerlendirilmesi. *Journal of Yaşar University*, 11(44), 302-315.
- Tsai, W. H., & Hung, S. J. (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.
- Tsui, C. W., & Wen, U. P. (2014). A hybrid multiple criteria group decision-making approach for green supplier selection in the TFT-LCD industry. *Mathematical Problems in Engineering*, 2014.
- Tuzkaya, G., Ozgen, A., Ozgen, D., & Tuzkaya, U. R. (2009). Environmental performance evaluation of suppliers: A hybrid fuzzy multi-criteria decision approach. *International Journal of Environmental Science & Technology*, 6(3), 477-490.
- Wan, S. P., Zou, W. C., Zhong, L. G., & Dong, J. Y. (2020). Some new information measures for hesitant fuzzy PROMETHEE method and application to green supplier selection. *Soft Computing*, 24, 9179-9203.
- Wang Chen, H. M., Chou, S. Y., Luu, Q. D., & Yu, T. H. K. (2016). A fuzzy MCDM approach for green supplier selection from the economic and environmental aspects. *Mathematical Problems in Engineering*, 2016.
- Wu, H. H. (2002). A comparative study of using grey relational analysis in multiple attribute decision making problems. *Quality Engineering*, 15(2), 209-217.
- Yang, C. C., & Chen, B. S. (2006). Supplier selection using combined analytical hierarchy process and grey relational analysis. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 17(7), 926-941.
- Yazdani, M., Chatterjee, P., Zavadskas, E. K., & Zolfani, S. H. (2017). Integrated QFD-MCDM framework for green supplier selection. *Journal of Cleaner Production*, 142, 3728-3740.
- Yeh, W. C., & Chuang, M. C. (2011). Using multi-objective genetic algorithm for partner selection in green supply chain problems. *Expert Systems with Applications*, 38(4), 4244-4253.



# Central Bank Digital Currencies under Blockchain Technology: Discussion of Digital Bank Runs and Design Principles

Muhammet Doğan<sup>1\*</sup>, Gökhan Övenç<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Istanbul Bilgi University, Applied Sciences, Department of Banking and Finance, İstanbul, Turkey,(ORCID: 0000-0002-4943-223X), muhammet.dogan@bilgi.edu.tr

<sup>2</sup> Istanbul University, Faculty of Economics, Department of Economics (English), İstanbul, Turkey,(ORCID: 0000-0003-4632-9760), gokhanovenc@istanbul.edu.tr

(First received 15 April 2021 and in final form 6 October 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.916233)

**ATIF/REFERENCE:** Doğan, M., Övenç, G. (2021). Central Bank Digital Currencies Under Blockchain Technology: Discussion of Digital Bank Runs and Design Principles. *European Journal of Science and Technology*, (27), 699-709.

## Abstract

The rising of digital currencies and the technology behind them, “blockchain,” draws much attention in many areas. According to the 2021 report of BIS, 86% of the participant central banks are actively researching the potential in this technology. This study attempts to shed light on possible expansion in monetary policy tools by the issuance of CBDC. Thus, it suggests a partial substitution of paper currency. Four design principles have been stated and discussed for a monetary system that includes CBDC and possible solutions regarding the digital bank run.

**Keywords:** Central Bank Digital Currencies, Blockchain, Unconventional Monetary Policy, Digital Bank Runs.

# Blozkincir Teknolojisi Kapsamında Merkez Bankası Dijital Para Birimleri: Dijital Banka Hücumları ve Tasarım İlkeleri Üzerine Tartışma

## Öz

Dijital para birimlerinin yükselişi ve arkasındaki teknoloji olan “blozkincir” pek çok alanda büyük ilgi görmektedir ve BIS'in 2018 raporuna göre katılımcı merkez bankalarının %86'sı aktif bir şekilde söz konusu teknolojiyle ilgili çalışmalar yürütmektedir. Çalışma, CBDC'nin çıkarılmasıyla para politikası araçlarındaki olası genişlemeye ışık tutmaya çalışmaktadır. Bu nedenle, kâğıt paranın kısmen ikame edilmesini önermektedir. Bu çalışmada CBDC'yi ve dijital banka hücumlarıyla ilgili olası çözümleri içeren bir para sistemi için dört tasarım ilkesi belirtilmiş ve tartışılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Merkez Bankası Dijital Para Birimleri, Blozkincir, Geleneksel Olmayan para politikası, Dijital Banka Hücumları.

\* Corresponding Author: muhammet.dogan@bilgi.edu.tr



## 1. Introduction

Financial technology (FinTech) is generally accepted as financial innovation that provides new solutions to the traditional systems with the help of technology. One such recent development in technology had a positive impact on the day-to-day business environment in our world. The rising of the digital currencies<sup>2</sup> and the technology behind them, “blockchain” draws much attention in many implication areas (Mattila, 2016, p10-16; Angin, P., 2020; Yazıcı, S., 2021; Aydar, M. & Çetin, S. C., 2020). In the finance area, one of the many possible implications has been argued for some time now. Investor firms, like venture capitals and financial institutions, mainly banks, are investing heavily in blockchain projects. Either for new financial solutions or to make more efficient traditional ones.

The potential of blockchain technology (also known as Distributed Ledger Technology -DLT) has taken the attention of the researchers and from the central banks, and the implications of the DLT have been testing since 2015 by various central banks<sup>3</sup>. However, the rise of stablecoins<sup>4</sup> may pose a threat to the sovereignty of the central bank over the monetary policy. In early 2021, BIS conducted a survey on Central Bank Digital Currencies (CBDCs) to understand the perception of the local central banks to the CBDC concept. 86% of participants are actively researching the potentials, 60% were experimenting with the technology and 14% were conducting CBDC projects. (BIS, 2021).

In essence, CBDC is digitally stored monetary value, and that can be used in transactions and, the Central Bank liabilities include the CBDC same as cash. In other words, CBDC would be a digital banknote. As in cash CBDC could be used by agents to do their transactions or each other (a “public CBDC”), or between financial institutions to settle trades in financial markets (a “restricted CBDC”).

According to a paper from CPMI-MC in 2018, CBDC is “*a digital form of central bank money that is different from balances in traditional reserve or settlement accounts.*” The central bank-issued digital currency is a complicated concept and raises various doubts regarding the engineering process. Since the CBDC will be the new form of money that affects all economic agents, that is something to consider meticulously. How to design such currency will depend on various subjects.

CBDC suggested as a payment instrument, denominated in the national unit of account, that is a direct liability of the central bank. The study attempts to shed light on possible expansion in monetary policy tools by the issuance of CBDC (both daily usage among individuals and financial market payments by financial institutions) and therefore eliminating the zero lower bound of nominal interest rates. Thus, it suggests a partial substitution of paper currency with CBDC. Four design principles have been stated for a monetary system that includes

<sup>2</sup> The very first proposal come from Chaum (1983) and it was digital cash after that; The European Monetary Institute (EMI), the predecessor of the European Central Bank, published its report (THE EMI, 1994) about electronic purse.

<sup>3</sup> See for further details ; Andolfatto, 2015; Bank of France, 2016; Broadbent, 2016; Chiu & Koepl, 2017, 2019; Elasrag, 2019; Güleç, 2018; Klarin, 2019; Kiff et al., 2020; Raskin & Yermack, 2016; Szostek, 2019; Üzer, 2017.

<sup>4</sup> Their values are pegged to other assets such as the US dollar or gold.

CBDC and possible solutions regarding the digital bank run. Since the paper aims only to focus on the Central bank digital currencies, details regarding cryptocurrencies have not been discussed here.

The rest of the paper as follows; in section 2, literature has been examined, section 3 provides the types of CBDCs and design principles, and section 4 concludes.

## 2. Related Studies

The national cryptocurrency subject gains significant attention due to the system’s possible benefits; accordingly, many theoretical monetary systems have recently been proposed; however, Tobin (1985) proposed deposited currency, a form of government money but not like cryptocurrency. BIS (1996) suggested an e-money that can be stored in debit cards and spend at any point of sale. That would be a possible response to the loss of seigniorage revenue and the weakening control of monetary policy.

Regarding the proposals of the national cryptocurrency Koning, (2014) proposed ‘Fedcoin’ somewhat similar to bitcoin. The author suggests a solution to the volatility problem by pegging cryptocurrency to the Dollar of the US. Danezis & Meiklejohn (2016) proposed a cryptocurrency framework that relies on distributed authorities. The centralization in the network prevents the scalability issue and maintains the anti-double spending feature of the system. Hayes (2016), starting from the Bitcoin protocol itself, suggested a nationwide application of the cryptocurrency framework. Such a framework involves decentralized autonomous organizations (DOA) that utilize smart contracts; therefore, the system aims to provide stability and efficiency in the market.

Barrdear & Kumhof (2016) have studied the macroeconomics of the CBDCs, with a dynamic stochastic general equilibrium (DSGE) model; they found that CBDC issuance with %30 of GDP can increase the GDP up to %3. According to the authors, this increase can be done with a reduction in real interest rates, transaction costs, and distortionary taxes. The authors also suggest that CBDC could improve the central bank’s capability to manage the business cycle.

The Riksbank (2017), in the first report of the e-krona work, described why the bank researching e-krona, possible functions of e-krona, a possible model, and the possible impacts of e-krona on the financial stability and monetary policy. The Riksbank (2018), in the second report of the e-krona project, emphasizes the need for the e-krona, as mentioned in the first report, in which cash usage is diminishing broadly in Sweden. Even if the cash marginalization will not decrease, the bank has the plan to step in to provide state-backed means of payment to the public.

Bank of Canada has announced the DLT investigation project series beginning from 2016; the first step of their research was a platform for central bank-issued digital receipts for deposited funds (Bank of Canada, 2016). At the second step of the research of DLT, the Bank of Canada employed a notary node<sup>5</sup> consensus model to increase efficiency in the domestic inter-bank payment system; furthermore, the bank’s results show

<sup>5</sup> A notary node is a protocol that can be used to make to reach consensus easier and faster.

that the DLT can provide a cross-border digital currency exchange system (Payments Canada et al., 2017). In the third phase of the research Bank of Canada utilize the DLT to provide efficiency in the clearing and settlement system for securities (Bank of Canada, 2018).

According to CPMI (2018) report, CBDCs can provide an alternative policy tool to the central bank. If any central bank decides to issue digital currency, different outcomes come with the design of the currency, wholesale CBDC would provide efficiency in the payment system between banks, and retail CBDC would reduce credit and liquidity risks in the payments system and increase resilience. Also, the authors emphasize the implications of not issuing CBDC, which is harmful to the central bank's monopoly power on the monetary authority due to the private tokens.

Ney & Xuan-Yi Zhang (2019) concluded that the credit market would deteriorate with the introduction of CBDC. However, this effect will ameliorate as financial stability improves in the following years. Bindseil (2019) states that within the business cycles or with the structural changes (like crises), CBDC disintermediates the banking system. Nevertheless, Chiu et al. (2019) have to build a model in the banking sector regarding the issuance of the CBDC, and they have concluded that CBDC can increase the lending rate by around %7, thus increase output by %1. Qian (2019) states that a proper design of the CBDC may help the function of the forward guidance and countercyclical currency controls.

Auer & Böhme (2020) argues that CBDCs can premise to provide safety and convenience as cash in the peer-to-peer payments. Following Auer and Böhme, Grothoff & Moser (2021) suggested a CBDC setup that would be easily scalable and allow the transaction privacy. Fernández-Villaverde et al. (2021) in their work argues and account based CBDC and points out the possible drawback if the central bank becomes monopoly of deposit. Andolfatto (2021) states that CBDC is not likely to threaten financial stability. Williamson (2021) points out banking panics and argues that eliminating may not be worth since the panics in CBDC tends to be less disruptive.

Lee et al. (2021) concludes that CBDC will be the primary tool in the future digital economy, and countries that are conversant with the technology will have a competitive advantage

### 3. Central Bank Digital Currency

The central bank money currently consists of two types as physical and digital. The latter is the reserves of the financial institutions that are held in the central bank. The cash is the only representative of the sovereign currency in one country, other than reserves privately issued money.

Central bank digital currency could be a new form of sovereign currency. Due to this feature, CBDC is a trending topic among the central bankers and academics, in which they analyze the merits and the perils. CBDC can be an electronic form of traditional central bank money (Bank of England, 2020).

Generally, two kinds of CBDC have been discussed, a token-based and an account-based CBDC (Figure 1) <sup>6</sup>. As we know it, cash represents token-based money and many private

cryptocurrencies and reserves, and bank money is account-based. The distinction between token and account-based money is that an account-based system requires verifying the payer's identity, while a token-based system requires verifying the validity of the object used to pay. Here we focus on four features regarding the money: an issuer, a form of money, accessibility, and the technology behind the transfer mechanism. The Venn diagram has been employed to see clearly where this new type of money stands in other money forms, and in the money flower, we can see the two types of CBDC among other money types (Figure 2) <sup>7</sup>.

CBDC could help with financial inclusion, maybe not in the

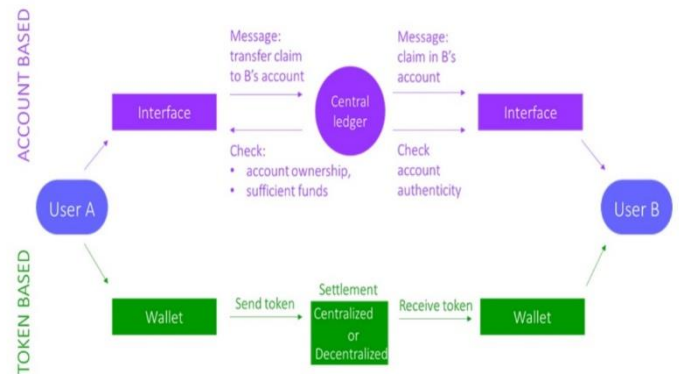


Figure 1: Account and Token-Based CBDC workflow

developed economies, but in countries that have most of the population in peripheries. The infrastructure for cash distribution can be costly and inefficient. Some of the examples of this can be given in the e-form of money such as PayTm<sup>8</sup> or M-pesa<sup>9</sup>. However, financial inclusion is not a simple task to fulfill, and CBDC can be a solution with good communications infrastructure, not just by itself is a solution.

On the fiscal advantages of the CBDC regarding the sovereign money, CBDC can help to capture a significant proportion of the seignorage revenue. Mayer & Huber 2014 (as cited in Bindseil, 2019, p. 307) estimated that in the eurozone, seignorage revenue would be more than €100 billion according to the pre-2008 interest rate level. This revenue might be less today considering the interest rate levels; however, today, banks almost all over the world control 97% of the money supply through CBDC that can transfer to the central banks (McLeay et al., 2014a, 2014b; Werner, 2014). In the report of the NEF and CBS (2017) on the seignorage revenues, they have constructed a historical model in the UK during the 1998-2016 period, which is based on 30% of the money supply held in CBDC instead of bank deposits. They found that total revenue, on average, was equal to 1.8% of each year's government expenditures.

Alongside the possible other benefits of the CBDC, the study suggests CBDC as a secondary money<sup>10</sup> since societies may face some difficulties in giving up cash completely. Cash is still of great importance in trade in many countries. In a period when digital payment instruments do not reach universal dimensions, the complete removal of cash will cause

<sup>7</sup> Source: (Bech & Garratt, 2017, p.60; CPMI, 2018, p.5)

<sup>8</sup> India's leading financial services company.

<sup>9</sup> M-Pesa is a mobile phone-based money transfer service in Kenya.

<sup>10</sup> See for further details; Dogan (2020)

<sup>6</sup> Source: (Mancini-Griffoli et al., 2018, p. 8)

considerable damage to the trade. Research on payment methods by the Swiss National Bank in 2017 suggested that there were regional differences in cash use even in Europe (SNB, 2017).

Digital Money Index<sup>11</sup>, showed that Singapore, in 2021, as the readiest country to use digital money among 84 countries in the world (Citi & Imperial College London 2021). In the research, the mentioned countries have experienced a 1% improvement in the preparation of digital money in one year. Another finding of Boesenach et al. (2018) report on world cash shows that withdrawals from ATMs experienced a weighted average positive growth rate. Also, Bech et al. (2018) stated that demand for cash has increased in developed economies since the 2008 financial crisis. According to Popovska-Kamnar (2014), the existence of electronic money in developed countries is confirmed by statistical evidence since they have prior access to all technological advancement.

Without eliminating the cash, the government can create second money to expand its control over financial stability because the abolition of cash can cause many problems that we tried to cover above. Besides, people can try to hide cash and create a black market for it. Also, it is known that some of the illegal works carried out with cash, and the abolition of cash can cause many unwanted problems in an economy. Rather than eliminating the cash all along, governments can discourage to use of cash<sup>12</sup>.

### 3.1. Types of CBDC

There are two different kinds of central bank digital currency, and one has two subsections. The first option to use for CBDC is restricted CBDC (a.k.a. wholesale CBDC, only available to financial institutions), and the second one is public CBDC (retail CBDC).

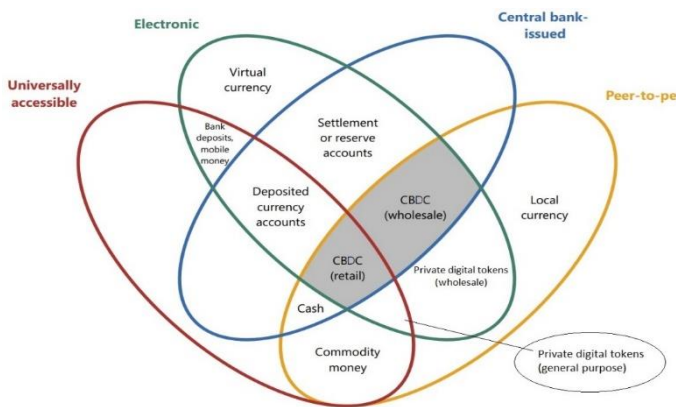


Figure 2: The Money Flower

The latter option is the best fit for many central banks that have been practicing on CBDC. However, in the pilot tests, we see only restricted CBDC due to the nature of implementation since there are limited participants in the restricted CBDC, which makes the system easily testable and adaptable.

#### 3.1.1. Restricted CBDC

A central bank could issue CBDC restricted use only to financial institutions to use in settlements and transfer of securities. The restricted CBDC system gets the name from the

participants' access; these systems are usually designed as permissioned networks instead of permissionless. Since the whole participants are known to the network manager, the burden of the proof of work can be eliminated by the notary node (i.e., a central bank).

The Monetary Authority of Singapore (2017), with project Ubin, Payments Canada et al. (2017), with project Jasper, Hong Kong Monetary Authority (2016) have tested the real-time gross settlement (RTGS) systems<sup>13</sup> on the DLT, and Hong Kong management went further just to test in RTGS and provide an example of Proof-of-Concept in Mortgage loans, Trade finance, and identity management. Most of the developing economies' systems of the interbank settlements may not be sufficient to provide what DLT can offer today's research level, such as the SARB (2018) Khokha project.

Digital tokens on the DLT platform have the potential to be used as a settlement asset; also, these transactions do not require 'a central third party' to complete the transaction. Since the tokens have their own representation value, a transaction can be completed peer to peer. However, that does not necessarily mean that there is no need for the central authority; a third party can be the market manager in the validation part.

#### 3.1.2 Public CBDC

Public CBDC, like the restricted one, has tested in a few countries<sup>14</sup> (Banco de la República Oriental del Uruguay, 2017; Central Bank of The Bahamas, 2019; Gang, 2020; National Bank of Ukraine, 2019; The Eastern Caribbean Central Bank (ECCB), 2019; The Riksbank, 2020). The word of the public in CBDC refers to the openness of every agent in the economy. In the restricted CBDC, the design purpose was to replace or enhance the payment system between some banks and the central bank; however, public CBDC can serve different design purposes. After assuring the public interest, we should answer such questions regarding the CBDC; Interest-bearing feature, amount of the CBDC, direct access or indirect access, and account or token-based CBDC. Each feature has a significant return on the design of CBDC.

In the public CBDC, the central bank can choose between two forms of currency; one is the token-based currency the other is the account-based currency (Figure 1). While the token-based approach provides anonymity to the customers, the account-based approach can provide more room to control illicit activities. The account-based approach provides simplicity and low administrative effort while protecting against money laundering and other illicit transactions (Berentsen & Schär, 2018).

Additionally, in the public CBDC, there is no need for the central bank to involve each transaction to check their compliance. ECB (2019) has shown proof of the concept of anonymity between users to some degree. That proof of concept hides the customers' low-value transactions and covers the AML/CFT regulations in the high-value transactions. Anonymity in the lower transactions could be helpful when purchasing from

<sup>11</sup> Established by Citi and Imperial College London

<sup>12</sup> See appendix for further details.

<sup>13</sup> RTGS systems effect final settlement of interbank funds transfers on a continuous, transaction- by-transaction basis throughout the processing day.

<sup>14</sup> See for the updated list of the Public CBDC experiments all around the globe: (Kiff, 2020)

a central market that stores the data of users' purchasing history. In the compliance section, smart contracts can be useful, such as if one wallet receives a significant amount of money from different accounts, that wallet can be locked down automatically.

Smart contracts can employ for various purposes in central bank payments systems. However, smart contracts would require more processing power on the ledger (on-chain), and with the unnecessary burden, the system potentially can slow down. Therefore, doubts would arise regarding the sustainability of the system and the energy consumption. Nevertheless, smart contracts can be separated onto another module (off-chain) so that the primary ledger would have less burden; also, this separated module can be co-governed with another body of government alongside the central bank.

Today each country has a cash transaction limit because authorities cannot clearly trace the transactions; thus, the limits are required; however, in the CBDC, there may no transaction limits since the traceability will allow the central bank to check the compliance. A central bank should design the CBDC as interest-bearing and enable when the rates are down below zero. A central bank would not necessarily pay interest on CBDC, but imposing negative rates may be the solution for the complex problem. Providing interest to CBDC can pose an unnecessary burden to the central bank and may create instability in the financial sector; thus, it would trigger to shift CBDC from bank money, which may end up with many unwanted outcomes.

CBDC should be convertible directly to cash with the Cash-to-Coin ratio<sup>15</sup> since this policy tool will improve the central banks' effect on the market; the CTC ratio could provide a reliable tool in a crisis or a bank run. On the bank money side, CBDC should be convertible to commercial banks' money at par to make the system sustainable.

### 3.2. Design Principles

#### 3.2.1 Interest Bearing CBDC

CBDC should pay a variable and adjustable interest for many significant reasons. The interest rates play a crucial role in financial stability, price stability, monetary policy design, and the conversion rate between the bank money.

Price stability and the parity between the CBDC are perhaps the most significant factors of the interest rate policy. If CBDC pays zero nominal interest rate as in the case of cash, and in case of an oversupply of CBDC, two possible methods can be applied to get the level of the market clearance. First, the depreciation of the CBDC according to other monies, in other words, devaluation. Second, if parity remains fixed, CBDC will lose its real value and balance the real market demand, which causes inflationary results. Indeed, this is an example of the printing of money.

#### 3.2.2 Coexistence of Restricted and Public CBDC As a Distinct Money

Reserves should be in the form of tokenized restricted CBDC, as mentioned above in the restricted CBDC, and the Public CBDC should be in an account form distinct from the restricted one. These two forms of money should design as not convertible into each other on-demand. Thus, two main objectives can be achieved.

<sup>15</sup> See appendix for further details.  
e-ISSN: 2148-2683

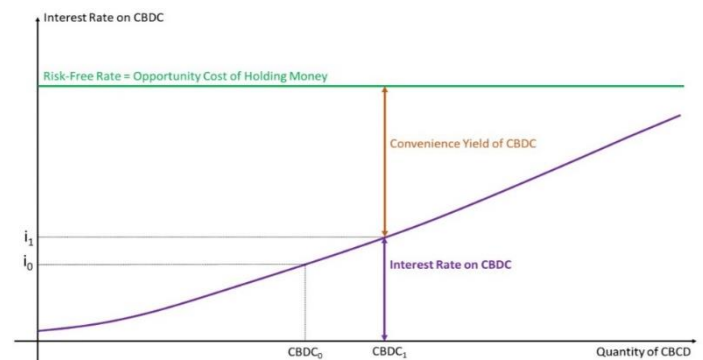
Firstly, if depositors attempt to switch to large numbers of CBDC, it helps to protect financial stability. In such a situation, any bank's willingness to exchange deposits against CBDC can pose a threat to financial stability.

Secondly, the separation of the reserves and the CBDC allows the central bank to employ another policy instrument, the interest rate on CBDC or the quantity of CBDC. Interest rates on CBDC can be used for financial stability as another monetary policy tool while the central banks sustain their control over the reserves.

However, in the literature, some authors argue that even with a distinct form of reserves and CBDC, the additional monetary policy tool cannot exist because of the arbitrage. This is because arbitrage will bring convergency to the rates on reserves and the CBDC (Bordo & Levin, 2017; Engert & Fung, 2017). This conclusion of the authors stems from an assumption of the same utility provided in two forms of money. Here in this study's assumption, the CBDC is a medium of retails payments; on the other hand, reserves are a medium of interbank settlements. Therefore, we argue the possibility of a new policy instrument, and the risk-free rate continues to be determined by the traditional policy, thus preventing the financial stability issues that could arise from the merge of reserves and CBDC, which is mentioned above.

#### 3.2.2.1 Arbitrage: Households and Firms

Currently, two forms of money belong to the central bank: cash and reserves. Cash bears, naturally, zero nominal interest rate; on the other hand, the nominal interest rate on reserves either the same as or almost equal to arbitrage, to the risk-free nominal interest rate of the economy, which is an interest rate on the government bills<sup>16</sup> which is a pure store of value asset. CBDC's nominal interest rate risk-free too, however, government bills are only for the store of value, but CBDC will be used as a medium of exchange. The total financial return and the functionality of a medium of exchange specifies its return, which is referred to as the convenience yield (cy) in monetary economics. At the margin, ceteris paribus, the cy is diminishing as the quantity of CBDC increases, and the CBDC demand curve slopes upward at the rate of interest paid to CBDC (Graph 1)<sup>17</sup>.



Graph 1: Convenience Yield on CBDC

#### 3.2.2.1.1 Model for Households and Firms Arbitrage

<sup>16</sup> Government bills are short dated securities which the government use to finance its public debt

<sup>17</sup> Source:(Kumhof & Noone, 2018)

When the CBDC supply becomes short relative to the bank money supply, the  $cy$  will be large. The model that employed to prevent arbitrage as emphasized in Kumhof & Noone (2018):

$$rf = ic + cy_{hf}^{cbdc}(CBDC) \quad (1)$$

The risk-free rate denoted as  $rf$ ,  $i_c$  refers to the interest paid to the CBDC, and the convenience yield will be a function of the stock of CBDC  $cy_{hf}^{cbdc} = cy_{hf}^{cbdc}(CBDC)$  because it can be challenging for a policymaker to know its size due to the variation in technology cost for transactions. Where  $ic$  can be calculated as emphasized in Barrdear & Kumhof (2016):

$$i_t = (i_{t-1})^{i_i} \left[ \frac{x \bar{\pi}^\rho (1 + \phi_b (b_t^{rat} - \bar{b}^{rat}))}{\beta_u} \right]^{(1-i_i)} \left( \frac{\pi_{4,t+3}^\rho}{(\bar{\pi}^\rho)^4} \right)^{\frac{(1-i_i)i_{\pi\rho}}{4}} \quad (2)$$

The steady-state nominal interest rate is placed as the second term in the model, in which any increase in the debt-to-GDP ratio finds repercussions in the steady-state real interest rate. The response to the inflation placed as the third term, where  $\pi_{4,t}^\rho = \pi_t^\rho \pi_{t-1}^\rho \pi_{t-2}^\rho \pi_{t-3}^\rho$ .

Under the CBDC price rule assumption of Barrdear & Kumhof (2016):

$$i_{m,t} = \frac{i_t}{sp} \left( \frac{\pi_{4,t+3}^\rho}{(\bar{\pi}^\rho)^4} \right)^{-i_{\pi\rho}^m} \quad (3)$$

The policy controls both the risk-free rate through reserves and the interest rate on the CBDC by the market.

Under the CBDC quantity rule assumption of Barrdear & Kumhof (2016):

$$m_t^{rat} = \bar{m}^{rat} S_t^{ms} - 100 m_{\pi\rho} E_t \ln \left( \frac{\pi_{4,t+3}^\rho}{(\bar{\pi}^\rho)^4} \right) \quad (4)$$

The policy controls the risk-free interest rate and the quantity of the CBDC, and the market determines the interest rate on CBDC to adjust to satisfy the conditions of the arbitrage. In either price rule or quantity rule, another policy instrument will be available for the central bank to employ by the introduction of the CBDC. The central bank would have the option to control both the quantity or the price of the CBDC and the real risk-free interest rate. The risk-free interest rate on the only store of value asset is crucial for the real investments and decisions of intertemporal allocation.

### 3.2.2.2 Arbitrage by Banks

The role of non-bank users of CBDC indirectly determines the CBDC interest rate; since they are absorbing CBDC's marginal unit, thus determine the convenience yield thereby determines the CBDC interest rate. However, without the role of the banks in the market for CBDC, the analysis would be incomplete.

#### 3.2.2.2.1 Model for Banks' Arbitrage

First, banks would be the same as the household and firms regarding the risk-free interest rate and the convenience yield,  $rf$  and  $cy_{hf}^{cbdc}(CBDC)$ . Since the risk-free interest rate applies

to every agent in the economy and the CBDC market, the convenience yield is determined via a marginal holder. The marginal holder, households, and firms gain significant benefits from the CBDC; on the other hand, banks are not gaining that much benefit from holding CBDC over reserves or gilts. Since the opportunity cost would push banks, they would not hold any significant amount of CBDC. As emphasized in Kumhof & Noone (2018), a possible solution for the portfolio problem of banks:

$$rf = ic + cy_b^{cbdc}(CBDC_b) \quad (5)$$

Convenience yield for banks denoted as  $cy_b^{cbdc}$  and the quantity of CBDC held by banks  $CBDC_b$ . As in the cash holding decision, the solution offers the same, which is sufficient enough to meet customer demands.

Second, banks can obtain CBDC like any other security; however, they have to pay for CBDC since it is an outside asset through the created deposits. Banks cannot borrow from  $ic$ , the CBDC, and invest the CBDC from  $rf$  to reserves. To satisfy their liquidity demands, households and firms decide among CBDC and deposits. No arbitrage condition by the banks as emphasizing in Kumhof & Noone (2018):

$$rd = ic - cy_{hf}^{cbdc}(CBDC) - cy_{hf}^{dep} + s = rf - cy_{hf}^{cbdc}(DEP) + s \quad (6)$$

The interest rate on the deposits denoted as  $rd$ ,  $cy_{hf}^{cbdc}$  refers to the convenience yield on deposits, and  $s$  refers to the spread that covers the credit risk of holding deposits at the commercial banks. The marginal holders of CBDC would be unconcerned about CBDC and deposits from the prevailing rates of interests and endogenic stocks of CBDC and deposits. Thus, they only sell their CBDC if only bank deposits offer equal or higher interest rates. As stated in the above formula, the convenience yield existence makes  $rf$  and  $ic$  not equal to each other in such equilibrium with no-arbitrage.

The central bank has the power as the only provider of distinct two forms of money, reserves, and CBDC, to control fluctuations in the risk-free rate and the interest rate on CBDC or the quantity of CBDC.

### 3.2.2.3 Convertibility of CBDC to Bank Deposits

Some authors suggested that the convertibility of the CBDC to bank deposits should not be a problem whenever the depositors want to convert and how much ever they want to convert (e.g., Meaning et al., (2018)). This should not be a binding feature for the CBDC, and for some reason, this can be dangerous and redundant.<sup>18</sup>

The peril of the convertibility guarantee does not show itself during regular times, but since there is an obligation to convert deposits to CBDC, in a time of stress, the central bank must accept deposits against CBDC rather than eligible assets. This

<sup>18</sup> Even in some country, there is no obligation for deposit convertibility to the banknote, as in the UK (Kumhof & Noone, 2018). Nevertheless, banks usually pays paper-based money on demand.

can cause to run from bank deposits to CBDC, and this would not run from a single bank; rather, it would be a run from the banking system. In the case of a bank run, the central bank can adapt the CTC ratio to the bank deposit to CBDC to discourage switching. In that much a big move, the ratios would be significantly negative, and this can find a lousy response in politics.

On the other hand, if the convertibility is not compulsory between the CBDC and the deposits, the depositors can still obtain CBDC with their deposits. Removing the guarantee from the convertibility of deposits into CBDC does not mean that the depositors will not obtain CBDC; on the contrary, CBDC can still be obtainable from the market with the eligible assets. In this way, the complete banking system run is eliminated.

However, the depositors can still try to cash out all their deposits in such a situation; the central bank would employ the CTC ratio, changing the CBDC in the formula with deposits temporarily to prevent the banking system run to cash.

A sufficiently liquid and significant market for the marginal holders of deposits and CBDC to trade their assets freely would be reasonable under these conditions. This market would be more reliable, even with a few agents that can access additional CBDC with eligible securities, than the reliance on the guaranteed convertibility of bank deposits into CBDC.

#### **3.2.2.4 Eligible Securities against CBDC**

The last principle of the CBDC is that the central bank issues and exchanges the CBDC for eligible securities like securities of the government. That does not apply to reserves and bank deposits. Therefore, the central bank can mitigate the risks that can stem from issuing CBDC, as in the banknotes and the reserves. Further, the rule for exchanging CBDC eliminates, mostly, the risk of the banking sector run. This crisis can stem from one bank when reserves can be freely tradeable with CBDC or when the CBDC can be changeable directly with deposits that can cause aggregate run from the banking system.

## **4. Conclusion**

Central bank digital currencies give rise to numerous questions on the design and operation of the monetary and financial system. The technology potentially offers improvement in resiliency, cost reduction, security, and an increase in speed and efficiency. The adaption of the DLT in the central bank money system is the most argued subject regarding the societal role of the DLT. In this regard, a new form of money has been proposed as Central Bank Digital Currency, that liability to the central bank. Since the money itself is programmable, design features are crucial; well-designed CBDC could improve the financial stability and the payment system; on the other side, the unelaborated design of CBDC would most likely undermine financial stability.

Four design principles have been stated for a monetary system that includes CBDC and possible solutions regarding the digital bank run. According to the principles;

1. CBDC should bear interest, adjustably.
2. CBDC and reserves should be separated and not directly convertible.
3. There should be no guarantee for the convertibility of bank deposits to CBDC.

4. CBDC should only be issued for eligible securities.

Nevertheless, under the fractional reserve theory, bank runs cannot wholly eliminate; only the possibility of the bank run can be minimized. Under the quantity rule of CBDC, CBDC's interest rate might decrease profoundly, and that can cause a political risk.

Under the price rule of CBDC, the market can have an eligible asset crisis, since the CBDC obtainable with the eligible assets, even with the vast prevailing amount of debt of the governments.

CBDC should be controlled with either the price rule or the quantity rule to have an effective mechanism to meet the demands in a time of need.

## **References**

- Andolfatto, D. (2015). Fedcoin: On the Desirability of a Government Cryptocurrency. *MacroMania* [Blog]. <https://andolfatto.blogspot.com/2015/02/fedcoin-on-desirability-of-government.html>
- Andolfatto, D. (2021). Assessing the Impact of Central Bank Digital Currency on Private Banks. *The Economic Journal*, 131(634), 525–540. <https://doi.org/10.1093/ej/ueaa073>
- Angin, P. (2020). Blockchain-based Data Security in Military Autonomous Systems. *European Journal of Science and Technology*, (Special Issue), 362-368.
- Auer, R., & Böhme, R. (2020). The technology of retail central bank digital currency. *BIS Quarterly Review*, March, 85–100.
- Aydar, M. & Çetin, S. C. (2020). Blokzincir Teknolojisinin Sağlık Bilgi Sistemlerinde Kullanımı. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (19), 533-538
- Banco de la República Oriental del Uruguay. (2017). Billeto Digital. [https://www.bcu.gub.uy/Comunicaciones/Conferencias/2017/1103\\_BCU\\_Billeto\\_Digital.pdf](https://www.bcu.gub.uy/Comunicaciones/Conferencias/2017/1103_BCU_Billeto_Digital.pdf)
- Bank for International Settlements. (1996). Implications for central banks of the development of electronic money. In *Working Paper* (Issue October).
- Bank of Canada. (2016). Introduction to Jasper. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-61783-1\\_15](https://doi.org/10.1007/978-3-319-61783-1_15)
- Bank of Canada. (2018). Jasper Phase III Securities Settlement Using Distributed Ledger Technology. In *Project Jasper* (Issue October).
- Bank of England. (2020). Central Bank Digital Currency, Opportunities, challenges and design (Issue March).
- Bank of France. (2016). La Banque de France mène une expérimentation de «blockchain» interbancaire. *PRESS RELEASE*. [https://www.banque-france.fr/sites/default/files/medias/documents/communique-de-presse\\_2016-12-15\\_la-banque-de-france-mene-une-experimentation-de-blockchain-interbancaire.pdf](https://www.banque-france.fr/sites/default/files/medias/documents/communique-de-presse_2016-12-15_la-banque-de-france-mene-une-experimentation-de-blockchain-interbancaire.pdf)
- Barrdear, J., & Kumhof, M. (2016). The Macroeconomics of Central Bank Issued Digital Currencies. In *Staff Working Paper* (No. 605; Staff Working Paper, Issue 605). <https://doi.org/10.2139/ssrn.2811208>
- Bech, M., & Garratt, R. (2017). Central Bank Cryptocurrencies. *BIS Quarterly Review* September 2017: International Banking and Financial Market Developments, September, 55–70. [www.bis.org](http://www.bis.org)

- Bech, M., Faruqi, U., Ougaard, F., & Picillo, C. (2018). Payments are a-changin' but cash still rules. *BIS Quarterly Review*, March, 67–80.
- Berentsen, A., & Schär, F. (2018). The case for central bank electronic money and the non-case for central bank cryptocurrencies. *Federal Reserve Bank of St. Louis Review*, 100(2), 97–106. <https://doi.org/10.20955/R.2018.97-106>
- Bindseil, U. (2019). Central Bank Digital Currency: Financial System Implications and Control. *International Journal of Political Economy*, 48(4), 303–335. <https://doi.org/10.1080/08911916.2019.1693160>
- BIS. (2019). Proceeding with caution - a survey on central bank digital currency. *Bank for International Settlements*, 101(January), 1–15. <https://econpapers.repec.org/RePEc:bis:bisbps:101>
- BIS. (2021). BIS Innovation Hub work on central bank digital currency (CBDC). *BIS Innovation Hub*. <https://www.bis.org/about/bisih/topics/cbdc.htm>
- Boesenach, E., Knaap, P. van der, & Vries, T. de. (2018) World Cash Report 2018. In G4S. <https://www.g4scashreport.com/-/media/g4s/cash-report/files/2018-world-cash-report---english.ashx?la=en&hash=0F3BECD46B4820D7FA32112E99252AAB>
- Bordo, M. D., & Levin, A. T. (2017). Central Bank Digital Currency and the Future of Monetary Policy. In *NBER Working Paper* (No. 23711; NBER Working Paper). <http://www.nber.org/papers/w23711>
- Broadbent, B. (2016). Ben Broadbent: central banks and digital currencies. Speech by Mr. Ben Broadbent, Deputy Governor for Monetary Policy of the Bank of England, at the London School of Economics, London, 2 March 2016, March 1–11.
- Central Bank of The Bahamas. (2019). Project Sand Dollar : A Bahamas Payments System Modernisation Initiative. <https://www.centralbankbahamas.com/publications/main-publications/project-sanddollar-a-bahamian-payments-system-modernization-initiative>
- Chaum, D. (1983). Blind Signatures for Untraceable Payments. (pp. 199–203). [https://doi.org/10.1007/978-1-4757-0602-4\\_18](https://doi.org/10.1007/978-1-4757-0602-4_18)
- Chiu, J., & Koepl, T. V. (2017). The Economics of Cryptocurrencies Bitcoin and Beyond. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3048124>
- Chiu, J., & Koepl, T. V. (2019). Blockchain-Based Settlement for Asset Trading. In *Review of Financial Studies* (Vol. 32, Issue 5). <https://doi.org/10.1093/rfs/hhy122>
- Chiu, J., Davoodalhosseini, S. M., Hua Jiang, J., & Zhu, Y. (2019). Central Bank Digital Currency and Banking. In *Staff Working Paper* (Staff Working Paper).
- Citi & Imperial College London. 2021. “The Digital Money Index.” *Digital Money Index*. Retrieved ([https://www.citibank.com/icg/sa/digital\\_symposium/digital\\_money\\_index/](https://www.citibank.com/icg/sa/digital_symposium/digital_money_index/)).
- Committee on Payments and Market Infrastructures and Markets Committee (2018): Central bank digital currencies, March.
- Committee on Payments and Market Infrastructures, Markets Committee, Committee on Payments and Market Infrastructures (CPMI), Norges Bank, IBM Blockchain, & OMFIF. (2018). Central bank digital currencies. In *Bank for International Settlements (BIS, Suiça) (NORGES BANK PAPERS, Vol. 174, Issue March)*. <https://www.bis.org/cpmi/publ/d174.pdf>
- Danezis, G., & Meiklejohn, S. (2016). Centrally Banked Cryptocurrencies (Issue February).
- Doğan, M. 2020. “Transformation of Banking: Negative Interest Rates and Central Bank Digital Currency Design Principles and Implications.” *Istanbul University*.
- ECB. (2019). Exploring anonymity in central bank digital currencies. In *Focus*, December (4), 1–11. <https://www.ecb.europa.eu/paym/intro/publications/pdf/ecb.mipinfocus191217.en.pdf>
- Elasrag, H. (2019). Blockchains for Islamic finance: Obstacles & Challenges. *Munich Personal RePEc Archive*, 03, 1–39.
- Engert, W., & Fung, B. S. C. (2017). Central Bank Digital Currency: Motivations and Implications. *Staff Discussion Paper*, January 1–30. [www.bank-banque-canada.ca](http://www.bank-banque-canada.ca)
- Fernández-Villaverde, J., Sanches, D., Schilling, L., & Uhlig, H. (2021). Central bank digital currency: Central banking for all? *Review of Economic Dynamics*, 41, 225–242. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.red.2020.12.004>
- Gang, Y. (2020). Interview with PBC Governor Yi Gang by Financial News and China Finance on Key Issues During “Two Sessions.” *Speeches*. <http://www.pbc.gov.cn/en/3688110/3688175/4031198/index.html>
- Grothoff, C., & Moser, T. (2021). How to Issue a Central Bank Digital Currency. *SUERF Policy Brief*, 114, 1–6. <https://www.suerf.org/suer-policy-brief/27227/how-to-issue-a-privacy-preserving-central-bank-digital-currency>
- Güleç, T. C. (2018). Blockchain Tabanlı Kripto Para Birimlerinin Mevcut Durumuna Dair Finansal Analizler ve Geleceği.
- Hayes, A. (2016). Decentralized Banking: Monetary Technocracy in the Digital Age. In *Banking Beyond Banks and Money* (pp. 239–278). [https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-319-42448-4\\_7](https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-319-42448-4_7)
- Hong Kong Monetary Authority. (2016). *Whitepaper On Distributed Ledger Technology*. *Astri*, 98. <https://doi.org/10.1155/2013/957862>
- Kiff, J. (2020). Countries Where Retail CBDC Is Being Explored. *Kiffmeister.Blogspot.Com*. <https://kiffmeister.blogspot.com/2019/12/countries-where-retail-cbdc-is-being.html?m=1>
- Kiff, J., Alwazir, J., Davidovic, S., Farias, A., Khan, A., Khiaonarong, T., Malaika, M., Monroe, H., Sugimoto, N., Tourpe, H., & Zhou, P. (2020). A Survey of Research on Retail Central Bank Digital Currency (WP/20/104; *IMF Working Papers*).
- Klarin, A. (2019). The decade-long cryptocurrencies and the blockchain rollercoaster: Mapping the intellectual structure and charting future directions. *Research in International Business and Finance*, 51(January 2019), 101067. <https://doi.org/10.1016/j.ribaf.2019.101067>
- Koning, J. P. (2014). Fedcoin. *Jpkoning.Blogspot.Ca*. <http://jpkoning.blogspot.com/2014/10/fedcoin.html>
- Kumhof, M., & Noone, C. (2018). Central Bank Digital Currencies- Design Principles and Balance Sheet Implications. *SSRN Electronic Journal*, 725. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3180713>
- Lee, D. K. C., Yan, L., & Wang, Y. (2021). A global perspective on central bank digital currency. *China Economic Journal*, 14(1), 52–66. <https://doi.org/10.1080/17538963.2020.1870279>
- Mancini-Griffoli, T., Soledad Martinez Peria, M., Agur, I., Ari, A., Kiff, J., Popescu, A., Rochon, C., Grinberg, F., Khan, A.,

- Poh, K., Tobias Adrian, B., Muhleisen, M., Obstfeld, M., Adrian, T., Alwazir, J., Bayoumi, T., Berkmen, P., Brandao Marques, L., Cheng, J., ... International Monetary Fund. (2018). Casting Light on Central Bank Digital Currency With contributions from Fabio Comelli Authorized for distribution. IMF Staff Discussion Note, 08. <https://www.imf.org/en/Publications/Staff-Discussion-Notes/Issues/2018/11/13/Casting-Light-on-Central-Bank-Digital-Currencies-46233>
- Mattila, J. (2016). The Blockchain Phenomenon The Disruptive Potential of Distributed Consensus Architectures. ETLA Working Papers, 38, 26.
- Mayer, T., & Huber, R. (2014). *Vollgeld: Das Geldsystem der Zukunft. Unser Weg aus der Finanzkrise.* Tectum Wissenschaftsverlag.
- McLeay, M., Radia, A., & Thomas, R. (2014a). Money Creation in the Modern Economy. Bank of England Quarterly Bulletin 2014 Q1, 1, 14–27. <https://ssrn.com/abstract=2416234>
- McLeay, M., Radia, A., & Thomas, R. (2014b). Money in the Modern Economy: An Introduction. Bank of England Quarterly Bulletin 2014 Q1, 10. <https://ssrn.com/abstract=2416229>
- Meaning, J., Dyson, B., Barker, J., & Clayton, E. (2018). Broadening Narrow Money: Monetary Policy with a Central Bank Digital Currency. SSRN Electronic Journal, 724. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3180720>
- National Bank of Ukraine. (2019). Analytical Report on the E-hryvnia Pilot Project. [https://bank.gov.ua/admin\\_uploads/article/Analytical\\_Report\\_on\\_E-hryvnia.pdf?v=4](https://bank.gov.ua/admin_uploads/article/Analytical_Report_on_E-hryvnia.pdf?v=4)
- Ney, J., & Xuan-Yi Zhang, N. (2019). Central Bank Digital Currencies and the Long-Term Advancement of Financial Stability. SSRN Electronic Journal. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3456753>
- Payments Canada, Bank of Canada, & R3. (2017). Jasper: A Canadian Experiment with Distributed Ledger Technology for Domestic Interbank Payments Settlement. 1–66. [https://www.payments.ca/sites/default/files/29-Sep-17/jasper\\_report\\_eng.pdf](https://www.payments.ca/sites/default/files/29-Sep-17/jasper_report_eng.pdf)
- Popovska-Kamnar, N. (2014) The use of electronic money and its impact on monetary policy. *Journal of Contemporary Economic and Business Issues*, 1(2), 79–92. <https://www.econstor.eu/bitstream/10419/147460/1/86795244X.pdf>
- Qian, Y. (2019). Central Bank Digital Currency: optimization of the currency system and its issuance design. *China Economic Journal*, 12(1), 1–15. <https://doi.org/10.1080/17538963.2018.1560526>
- Raskin, M., & Yermack, D. (2016). Digital currencies, decentralized ledgers, and the future of central banking. *Research Handbook on Central Banking*, 474–486. <https://doi.org/10.4337/9781784719227.00028>
- South African Reserve Bank (SARB). (2018). Project Khokha.
- Swiss National Bank (SNB) (2017). Survey on payment methods. August 2017, [https://www.snb.ch/en/mmr/reference/paytrans\\_survey\\_report\\_2017/source/paytrans\\_survey\\_report\\_2017.en.pdf](https://www.snb.ch/en/mmr/reference/paytrans_survey_report_2017/source/paytrans_survey_report_2017.en.pdf)
- Systems, W. G. on E. P. (1994). Prepaid cards, May 1994. REPORT TO THE COUNCIL OF THE EUROPEAN MONETARY INSTITUTE, May.
- Szostek, D. (2019). Chapter III. Blockchains in finance. In *Blockchain and the Law* (1st ed., pp. 54–96). Nomos Verlagsgesellschaft mbH & Co. KG. <https://doi.org/10.5771/9783845298290-54>
- The Eastern Caribbean Central Bank (ECCB). (2019). DXCDCaribe pilot. <https://www.eccb-centralbank.org/p/about-the-project>
- The Monetary Authority of Singapore (MAS). (2017). The Future is Here - Project Ubin: SGD on Distributed Ledger. In Project Ubin. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/209/1/012028>
- The Riksbank. (2017). The Riksbank's e-krona project 1 (Issue September). [http://www.riksbank.se/Documents/Rapporter/E-krona/2017/rapport\\_ekrona\\_170920\\_eng.pdf](http://www.riksbank.se/Documents/Rapporter/E-krona/2017/rapport_ekrona_170920_eng.pdf)
- The Riksbank. (2018). The Riksbank's E-Krona Project: Report 2 (Issue October).
- The Riksbank. (2020). The Riksbank to test technical solutions for the e-krona. Press Releases. <https://www.riksbank.se/en-gb/press-and-published/notices-and-press-releases/notices/2020/the-riksbank-to-test-technical-solution-for-the-e-krona/>
- Tobin, J. (1985). The Case for Preserving Regulatory Distinctions. *Bank of Japan Monetary and Economic Studies*, 3(2), 19–29.
- Üzer, B (2017). “Sanal Para Birimleri,” The Central Bank of the Republic of Turkey, Payment systems, Expertise Proficiency Thesis, Ankara.
- Werner, R. A. (2014). Can banks individually create money out of nothing? — The theories and the empirical evidence. *International Review of Financial Analysis*, 36, 1–19. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.irfa.2014.07.015>
- Williamson, S. D. (2021). Central bank digital currency and flight to safety. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 104146. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jedc.2021.104146>
- Yazıcı, S. (2021). Turizm İşletmelerinde Bilgi ve İletişim Teknolojilerinden Blokzincir Teknolojisine Geçiş Süreci ve Uygulama Örnekleri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (21), 136-146.

## Appendix

### *Operating Framework of Negative Interest Rates*

By creating paper currency and bank money (CBDC) and with the bank money as a unit of account makes it possible for depreciation of paper currency compared to bank money. Buitter (2007<sup>19</sup>, 2009<sup>20</sup>) revitalized the proposal of Eisler (1932<sup>21</sup>) by suggesting a more streamlined proposal that involves a negative cost on cash. Agarwal & Kimball (2015)<sup>22</sup> proposed a system that can work with two money. Assenmacher & Krogstrup (2018)<sup>23</sup> went further on the current proposals and suggested some practical issues. As emphasized in Assenmacher &

<sup>19</sup> <https://doi.org/10.1007/s11079-007-9035-7>

<sup>20</sup> <https://www.nber.org/papers/w15118.pdf>

<sup>21</sup> Stable Money: The Remedy for the Economic World Crisis

<sup>22</sup> <https://www.imf.org/en/Publications/WP/Issues/2016/12/31/Breaking-Through-the-Zero-Lower-Bound-43358>

<sup>23</sup> <https://doi.org/10.5089/9781484370025.001>



Krogstrup (2018), negative interest on the digital accounts can be set equal to the negative yield on cash with the CTC conversion rate;

$$i_t = [360 * (CTC_{t+d} - CTC_t)] / (d * CTC_t)$$

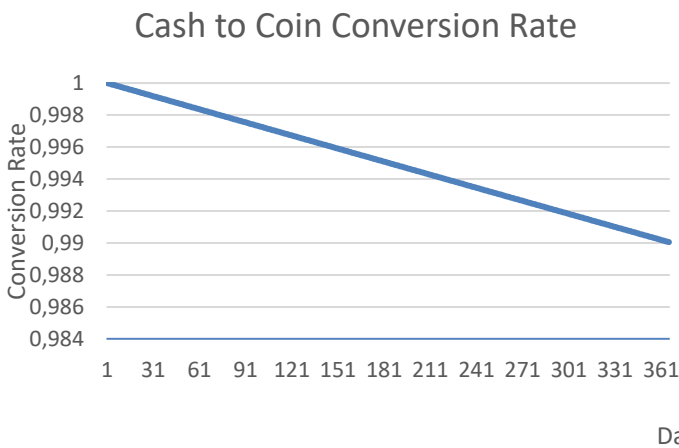
Where the  $i_t$  denotes annualized yield on cash, and  $d$  is the time units of adjustments between the CTC rates.

A central bank would have two monetary bases to control the market, one of them for cash, and the other one is for digital money (Coin). Once a central bank has two money in its system, it is much easier to enable negative interest rates. Let us say a central bank wants to enable the negative interest rates to stimulate spending when defending the demand shock. Since the coins<sup>24</sup> are all electronic, when the central bank announces negative interest rates on coins, let us say -1% per year fixed rate, starting from the first day of the announcement, cash to coin conversion rate will begin with par. The CTC rate initially starts from par, which  $CTC_0 = 1$ ; thereafter, the central bank can announce that the yield on cash will be equal to the negative rates on accounts. The first day's CTC ratio can be calculated as;

$$CTC_1 = \frac{1}{\sqrt[360]{1-0,01}} = 1.00002. \text{ }^{25}$$

As the days pass by, the cash to coin conversion rate will decrease, and after one year from the announcement, one TRY (Turkish lira) would be converted to 0,99 Coin. However, this process will be gradual, and once the conversion rate is applied, it will be effective immediately. For instance, after a month from the beginning of negative interest rates, it will be equal to 1,0008; when a bank needs cash, it applies to a central bank to meet the demand of its own, the bank will give 1000 coins to the central bank, and in return, it will take roughly 999.2TRY from the central bank.

**Graph: Cash to Coin Conversion Rate**



Source: Authors' own elaboration

In an economy, if there will be two money, the legal tender should be pre-specified since, from tax payments to lease contracts, uses the legal tender. The change in the legal tender requires some alteration in the money act and banking acts to have an effective policy result. These changes depend on the country's structure of the legal base, institutional, and cultural substructure. To establish such a system requires to separate the functions of money. Money has three main functions; first, money serves as a medium of exchange<sup>26</sup>, the second store of value<sup>27</sup>, and lastly, the unit of account<sup>28</sup>. Coin (digital currency) should undertake the medium of exchange and the unit of account functions of money. Since these functions are crucial in an economy, if we do not separate the functions, cash will dominate the digital coin even if we increase the CTC conversion rate. Therefore, it would be ideal when the coin is the measure of goods and services. Since the unit of account function affects people's behavior, even in thinking to save and spend, that will contribute to the policy. From lease contracts to price tags in the markets, people should see the coin's sign to ensure the system will work properly.

The CTC conversion rate will apply whenever one wants to convert cash to foreign currency so that any arbitrage from the market of foreign currency would be prevented. Therefore, there will be no need to restrict cash access or to ban the usage of cash when converting to foreign currency. As we know from history, in the economy, goods or services cannot limit or prohibit; it just forces that to alter the market, and so the same products or services go-to the black market/underground economy (Goldberg and Karimov 1997)<sup>29</sup>. Black markets would respond to the situation of cash<sup>30,31</sup> immediately since they cannot resist any opportunities from illicit works (Kabir Hassan et al. 1995)<sup>32</sup>.

Negative yields on the coins should be equal to the cash to coin conversion rate so that there will be no trading opportunity. Besides that, the central bank can increase/decrease this conversion rate according to the market movements, if at the beginning, CTC would be set slightly above from negative rates, which would prevent hoarding of cash. One suggestion was the annually announced cash to coin conversion rate, as we mentioned above, and almost equal to the negative yields on the

<sup>26</sup> Money acts as an intermediary to make it easier to purchase things rather than barter with something you have. The supplier takes money in exchange for a good or service. Herewith, a medium of exchange function of money emerges.

<sup>27</sup> When people gave up spending today and hold the money of their own, they save a value. A value that buys goods or services when they need to.

<sup>28</sup> As a unit of account, money makes measurable so many things in life such as the price of an island or a good spa in exotic places, and thanks to this function, we can keep precise financial records.

<sup>29</sup> <https://www.nber.org/papers/w4153.pdf>

<sup>30</sup> See for one example of this restricts; (Reuters 2020)

<sup>31</sup> See for further readings on black market history; (Winton 2018)

<sup>32</sup> <https://doi.org/10.1007/BF02298988>

<sup>24</sup> Represent all the electronic money in the system.

<sup>25</sup> Year days taken as 360.

digital currencies. In the market, the central bank should ensure that the demand elasticity of cost<sup>33</sup> stays elastic form rather than inelastic. In other words, a central bank can use pre-announced rates as well as can alter the cash to coin conversion rate according to the demand. To combat with hoardings, the central bank intervenes in the cash market, and rather than restrict access to cash; the central bank can increase the cost of cash. By doing so, the central bank can effectively respond to market demand and controls the market. After abandoning the 'gold standard'<sup>34</sup> in the monetary system, everything became related to the reputation of a central bank. The reputation of a bank stems from the trustiness of the same bank. Without a clear communication channel and transparency, a central bank cannot be trusted entirely. It is essential that understand the nexus between the financial system and trust, therefore, act regarding this situation since trust establishes the fundamental of the financial system.

In such a system, if the community participates in this policy with full understanding, assuming country-level financial literacy is high<sup>35</sup>, the in-question policy will be much more effective. Enactment of negative interest rates might cause panic and hoarding at the beginning, and it is easy to understand societies tends to panic when they have come across something they do not know. If the central bank announces the annual conversion rate, that establishes trustiness in the society because people will know what will be the conversion rate one year hence or one month hence. Therefore, even if there are any panic transactions, which eventually can become bank run<sup>36</sup>, based on this uncertainty of negative rates, these panic movements would be prevented with a clear communication channel that is established onto the negative interest rates.

In his work on the monetary system, Borio (2019)<sup>37</sup> stated that:

*'The (monetary) system hinges on trust. It cannot survive without it, just as we cannot survive without the oxygen we breathe'.*

If the fundamental of the system cannot achieve by the central bank, that may lead the society to hoard some valuable assets, therefore, can cause severe damage to the financial system. This situation may require some precautions as the U.S.

did in 1933, forbidding gold to the public in all manners<sup>38</sup>. However, this is the opposite of the expected outcome of the policy. We have seen substitution in the payment means during the high inflation times in some countries. Also, in some states, it was observed that foreign currency was used as a sovereign store of value. Nonetheless, according to Borensztein & Berg (2000)<sup>39</sup>, '*Countries are likely to be reluctant to abandon their currencies, symbols of their nationhood, particularly in favor of those of other nations.*' We even see the same reluctance in countries that joined to Euro union in 2002. In 2004 European Commission conducted a survey, and results show that %25 of the participants are using national currencies during the daily transactions. Therefore, it would be hard to leave the local currency all of a sudden. If the central bank established a clear communication channel, the effect of which will be prevented (European Central Bank, 2005<sup>40</sup>; Mastrobuoni, 2004)<sup>41</sup>.

The system that we try to cover here is not that much differs from the conventional policies. Such as today's world, if one economy experiencing depression, even if the interest rates are negative, one can still make a profit in real terms. For instance, in an economy that is shrinking and experiencing deflation by 2 percent, if the interest rates are at the 1 percent negative level, one can earn 1.02 percent in real terms, as shown in graph 2.11, Japan's historical evidence support what has been arguing. Therefore, the negative rates are can be the option when the system is required to take action.

<sup>33</sup> Since holding cash is not to bring 'naturally' zero nominal return.

<sup>34</sup> A gold standard uses gold directly or indirectly as money. In this passage, the gold standard represents indirect use rather than direct use of gold in transactions. In the monetary system, the gold standard means that use representations (banknotes, bills, etc.) of gold are used in exchange.

<sup>35</sup> If this is not the case, the central bank needs to ensure that policy clearly understood by most of the society before enabling the negative interest rates.

<sup>36</sup> A bank run occurs when a flood of depositors withdraws funds from a bank within a short time frame (Merriam-Webster. n.d.).

<sup>37</sup> <https://www.bis.org/publ/work763.pdf>

<sup>38</sup> See the repeal of this presidential executive order by the president of the period Gerald Ford; (93rd Congress 1974)

<sup>39</sup> <https://doi.org/10.2139/ssrn.267355>

<sup>40</sup> [https://www.ecb.europa.eu/pub/pdf/other/mb200504\\_focus03.en.pdf](https://www.ecb.europa.eu/pub/pdf/other/mb200504_focus03.en.pdf)

<sup>41</sup> <https://gceps.princeton.edu/wp-content/uploads/2017/01/101mastrobuoni.pdf>



# Enerji Verimliliği ve Tasarrufunda Tüketici Algı Yönetimi Yöntemlerinin Değerlendirilmesi

Tuba Benek Arslan<sup>1</sup>, Şafak Baykal<sup>2</sup>, Alper Terciyanlı<sup>3</sup>, Ertuğrul Çam<sup>4\*</sup>

<sup>1</sup> Endoks Enerji Dağıtım Sistemleri Ltd., Ankara, Türkiye (ORCID: 0000-0003-1790-2935), [tuba.benek@endoks.com](mailto:tuba.benek@endoks.com)

<sup>2</sup> Inavitas Enerji A.Ş., Ankara, Türkiye (ORCID: 0000-0002-5519-6077), [safak.baykal@inavitas.com](mailto:safak.baykal@inavitas.com)

<sup>3</sup> Inavitas Enerji A.Ş., Ankara, Türkiye (ORCID: 0000-0003-2671-2615), [alper.terciyanli@inavitas.com](mailto:alper.terciyanli@inavitas.com)

<sup>4\*</sup> Samsun Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Samsun, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-6491-9225), [ertugrul.cam@samsun.edu.tr](mailto:ertugrul.cam@samsun.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 3 Mayıs 2021 ve Kabul Tarihi 4 Kasım 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.932265)

**ATIF/REFERENCE:** Benek Arslan, T. & Baykal, Ş., Terciyanlı, A. & Çam, E. (2021). Enerji Verimliliği ve Tasarrufunda Tüketici Algı Yönetimi Yöntemlerinin Değerlendirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (27), 710-717.

## Öz

Dünya genelindeki enerji talebinin hızla artması ve buna bağlı olarak ekosistem dengesinin bozulmasının önlenmesi için çevreyi koruma yaklaşımlarının yanı sıra enerji kullanımı üzerindeki yaklaşımlar da önemlidir. Enerji kaynaklarının yetersizliği, enerji verimliliği ve enerji tasarrufu konularının önemini artırmıştır. Mevcut uygulamalar daha çok teknolojik iyileştirme ve yenilikler ile enerji tüketimini azaltmayı amaç edinen enerji verimliliği çalışmalarıdır. Ancak, bu çalışmalarda başarı elde etmenin en önemli yöntemlerinden biri de tüketici davranışlarını daha iyi anlamak, tüketici davranışının etkilendiği dinamiklerin farkında olmak ve tüketicileri bu konuda bilinçlendirerek enerji verimliliği uygulamalarına etkin bir şekilde dahil etmektir. Bu makalede, enerji verimliliği ve tasarrufların sağlanması noktasında tüketici algı yönetiminin önemi incelenecek ve mevcut uygulamaların bir değerlendirmesi sunulacaktır.

**Anahtar Kelimeler:** Enerji Verimliliği, Enerji Farkındalığı, Talep Tarafı Katılımı, Müşteri Bağlılığı, Müşteri Deneyimi, Tüketici Algı Yönetimi

## Evaluation of Consumer Perception Management Methods in Energy Efficiency and Saving

### Abstract

With the rapid increase in energy demand around the world and the deterioration of the ecosystem balance, the approaches on energy use are also important in addition to protecting the environment. At this point, the insufficiency of energy resources has increased the importance of energy efficiency and energy-saving issues. Current applications are energy efficiency studies that aim to reduce energy consumption with mostly technological improvements and innovations. However, one of the most important methods of achieving success in these studies is to better understand consumer behavior, to be aware of the dynamics that affect consumer behavior, and to effectively include consumers in energy efficiency applications by raising awareness on this issue. In this article, the importance of consumer perception management in energy efficiency and savings will be examined and an evaluation of current applications will be presented.

**Keywords:** Energy Efficiency, Energy Awareness, Demand Response, Customer Engagement, Customer Experience, Consumer Perception Management

## 1. Giriş

Küresel enerji talebi günden güne artmaktadır. Özellikle gelişmiş ülkelerde talep arttıkça büyük miktarda enerji tüketmeye devam etmektedirler (BP, 2019). Dünya Enerjisi İstatistiksel İncelemesi Raporu'na göre, toplam dünya enerji tüketimi 2019'da 13.864,9 Mtoe artmıştır (BP, 2019). Energy Information Administration (EIA)'nın 2019 yılındaki raporuna göre, 2050 yılına kadar dünya enerji tüketiminin yaklaşık olarak %50 oranında artacaktır (EIA, 2019). Dünyadaki ülkelerin karşılaştığı enerji ile ilgili problemler; fosil yakıt rezervlerinin azalması, sürdürülebilir enerji tedarikinin sağlanması ve küresel ısınmanın etkilerinin artmasıdır (MacKay, 2008).

Elektrik enerjisinin kullanımının, diğer enerji kaynaklarının kullanımını 25 yılda katlayacağını belirten EIA, elektrik üzerine ayrıca odaklanmaktadır. International Electrotechnical Commission (IEC) birinci enerji kaynağı olan elektriğin, akıllı ve ekonomik kullanımının, enerji problemlerini çözmek için en önemli faktör olduğunu belirtmekte ve bunun da yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji üretiminin yanı sıra verimli enerji kullanımı ile de olacağını söylemektedir (International Energy Agency, 2018). Ayrıca IEC, enerji verimliliği konusunun sadece daha az elektrik kullanımı ile değil; aynı zamanda sistemlerin ve sosyal davranışların değişmesi ile de bağlantılı olduğunu altını çizmiştir. Pozitif davranış değişiminin ev sakinlerine evdeki cihazların ne kadar enerji kullandığını gösteren bildirimler sağlanarak başarılabileceği belirtilmektedir (Ueno, Inada, Saeki, & Tsuji, 2006). Yapılan farklı literatür çalışmalarında cihaz bazında kullanım bilgisine dayanan enerji tüketimi stratejisi uygulayarak enerji korunumunun %9 ile %20 aralığında elde edilebileceğini göstermiştir.

Potansiyel enerji tasarruflarını ve buna bağlı olarak parasal tasarrufların yanında artan konfor ve hava kalitesinin iyileşmesi gibi diğer yararları tüketicilere bildirmek, verimsiz cihazların değiştirilmesi konusunda motivasyonun artmasına neden olarak tüketimi kalıcı olarak azaltabileceği düşünülmektedir.

Bu makalede, ilk olarak talep tarafı katılımı ile enerji verimliliği sağlanması yönünde Dünya'da gerçekleştirilmiş uygulamalar ele alınmaktadır. Daha sonrasında yapılan uygulamaların gözden geçirme ve değerlendirme sonuçları ile tüketici/kullanıcı davranışının hanelerdeki enerji verimliliği üzerindeki potansiyel etkileri ortaya konulmaktadır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Enerji Verimliliği ve Tüketici Farkındalığı

Dünya genelinde enerji talebi hızla artarken; küresel olarak artan gelir düzeyleri, kentleşme ve elektriğe erişimin artması enerji talebinin hızla artmasına neden olmaktadır. Bu sebeple de kaynakları hızla tükenmekte olan dünyamızda, kullanılan enerji miktarının hızla artması ve buna bağlı olarak ekosistem dengesinin bozulması sadece çevreyi koruma konusunda değil, aynı zamanda enerji kullanımı üzerinde de yeni yaklaşımların oluşmasına neden olmuştur. Sanayileşme, hayat standartlarının yükselmesi ve gelişen teknolojiyle birlikte teknolojik ürün kullanımının artması ve artan nüfus sebebiyle, enerji tüketimi dünya genelinde bir artış göstermektedir.

Enerji verimliliği, binalardaki yaşam standardını ve hizmet kalitesini artırırken, endüstriyel işletmelerde üretim kalitesi ve miktarında düşüşe yol açmadan, birim hizmet veya ürün miktarı başına enerji tüketiminin azaltılmasıdır. Daha geniş bir biçimde

enerji verimliliği; gaz, buhar, ısı, hava ve elektrikteki enerji kayıplarını önlemek, çeşitli atıkların geri kazanımı ve değerlendirilmesi veya ileri teknoloji ile üretimi düşürmeden enerji talebini azaltması, daha verimli enerji kaynakları, gelişmiş endüstriyel süreçler, enerji geri kazanımları gibi etkinliği artırıcı önlemlerin bütünüdür (Turhan, ve diğerleri, 2010).

Enerji tasarrufu, tüketiciler tarafından alınan yaşam şartlarını etkileyecek önlemler ile kullanılan enerji tüketimindeki düşüş, rakamsal olarak %10-%20 civarında ifade edilmektedir (Topal & Özoglu, 2018).

Enerji verimliliğini sağlamak ve devamlı kılmak birçok yöntem ile mümkündür. Bu yöntemlerin çoğu teknolojik müdahaleleri içerir, ancak enerji tüketimindeki farkındalıklar da dahil olmak üzere bazı önlemler tüketici davranışlarına dayanmaktadır. Tüketiciler arasında enerji tasarrufu bilincini vurgulamak iki ana bileşen olan bilgi ve uygulama ile sağlanabilmektedir.

Fragidis'e (Fragidis & Detlef, 2015) göre, enerji farkındalığı, ne kadar enerji tüketildiği konusundaki bilgileri içermektedir. Tüketicilerin enerji tüketimini azaltmaları gerekir, ancak bununla ilgili bilgi sahibi olmadıkları için nasıl yapılacağını bilmemektedirler. Daha da önemlisi, tüketicilerin enerji tüketimi hakkında ne kadar elektrik kullandıkları ne zaman kullandıkları ve aylık elektrik faturalarını en iyi şekilde etkilemenin zamanı gibi ayrıntıları bilmeleri gerekir. Hem de ne kadar bilgili olurlarsa, enerji tasarrufu uygulamalarını benimsemeye o kadar ilgi duyabilirler. Enerji tüketicilerinin farkındalığı, enerji tasarrufu davranışlarını benimsemenin ilk adımıdır (Fragidis & Detlef, 2015). Tüketiciler her ne kadar enerji tasarrufu konusunda yeterli bilgiye ve bunları hayata geçirme isteğine sahip olsalar da birçok tüketici hala enerji verimliliği sağlamaya ve korumaya yönelik kayda değer ilerlemeler göstermemektedir. Enerji tasarrufuna yönelik enerji bilinci, ev sakinlerinin uygun bir tutumu ve insan davranışını gerektirir (Majid, Salehudin, Rahim, & Othman, 2016). Bu durumda tüketicilerin enerji verimliliği konusunda farkındalığının artmasının, tüketim davranışlarını etkileyebileceği ortadadır.

Nijerya'da yapılan bir başka çalışmada, önceden belirlenmiş konut örneklerinde enerji verimliliğini etkileyen faktörler ele alınmıştır. Çalışmanın sonuçları meskenlerde enerji verimliliği ile tutum ve davranış arasında güçlü bir korelasyon olduğunu göstermiştir. Buna ek olarak, aynı araştırmacılar aynı meselelerle sosyal bir araştırma yapmış ve Nijerya'nın Bouchi kasabasında spesifik enerji verimliliği dağıtımının imalarına odaklanmıştır (Hussaini & Majid, 2014). Sonuç, bina sakinlerinin büyük ölçüde farkındalık ve gerekli enerji verimliliği bilgisi eksikliği nedeniyle, daha düşük bir enerji verimliliği uygulaması ortaya koymaktadır. Ayrıca, Syed Hussain (Hussain, Ismail, & Noh, 2013) Malezya Utara Üniversitesi'nde (UUM) öğrenciler arasında enerji tasarrufu bilincini araştırmak için bir çalışma yapmıştır. Bu araştırma bilgi, görüş ve eylem olmak üzere üç ana unsur içerir. Sonuçlar, UUM öğrencileri arasında enerji tasarrufu konusunda farkındalık düzeyinin düşük olduğunu ve bunun elektrik faturalarının maliyetini ödemek açısından üniversite yönetiminde büyük bir yük oluşturduğunu ortaya koymuştur. Bu nedenle, UUM öğrencileri arasında elektrik tasarrufu bilincini artırmak amacıyla daha fazla çaba harcanması gerektiği önerilmiştir. Aynı şekilde, Noor Hanita'ya (N.H. Abdul Majid, 2011) göre farkındalık ve sosyal statü gibi faktörlerin enerji

verimliliği farkındalığı üzerinde etkileri olabilir, ancak bunu mutlaka belirlemek gerekmez. Ayrıca, enerji tüketimini azaltmak için hanelerde enerji verimliliği uygulamalarının ihtiyaçlarının karşılanmasını önermişlerdir. Buna paralel olarak, çalışmanın sonuçları bireyin farkındalık ve eğitim düzeylerinin Enerji Verimliliği uygulamasını etkilediğini ortaya atmıştır.

Burada adı geçen çalışmalardan hareketle enerji davranışı, tüketicinin iç ortam sağlığını kontrol etmek, binaların içinde termal, görsel ve akustik konfor elde etmek için bina sistemleriyle olan etkileşimidir. Bu anlamda tüketicinin enerji davranışını etkileyen birçok parametre bulunmaktadır.

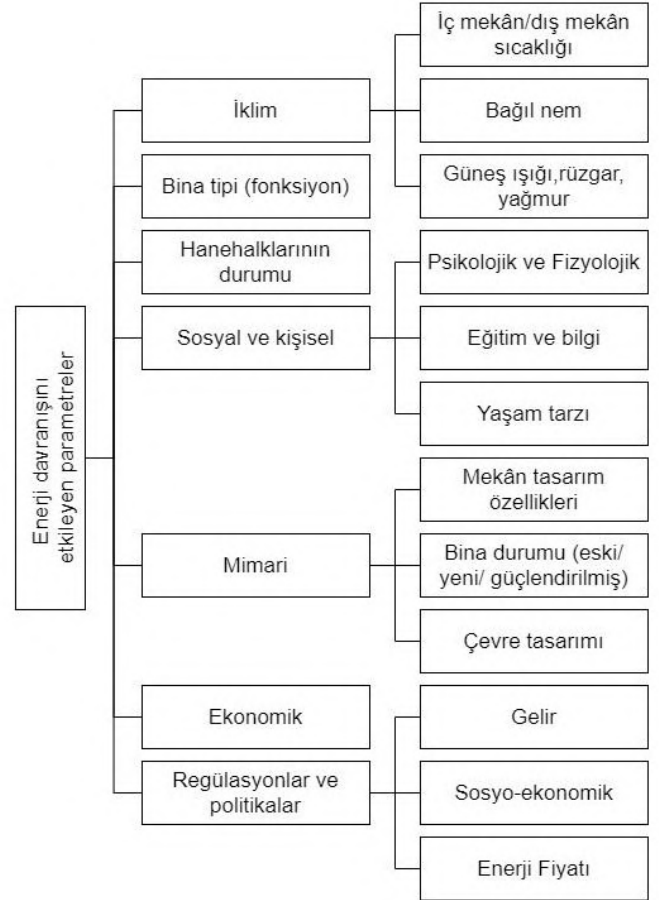
## 2.2. Enerji Davranışını Etkileyen Parametreler

Enerji davranışları, binalarda ve konutlarda son kullanım enerji verimliliğinin artması için önemli bir kullanılmayan potansiyeli temsil etmektedir. Enerji davranışları, binalardaki enerji kullanımının önemli bir belirleyicisi olsa da davranışa bağlı enerji tasarrufu potansiyeli, teknolojik çözümlerden gelenler kadar yüksek seviyelerde de olabilmektedir. Tüketicilerin enerji davranışı birçok farklı parametreden etkilenmektedir.

Bu parametrelerden konfor (özellikle termal konfor), tüketicinin enerji kullanımını doğrudan etkileyen kişisel (fizyolojik, psikolojik) ve sosyal parametreler nedeniyle kişiden kişiye değişen bir zihin halidir. Fabi, Andersen (Fabi V, 2012), bina sakinlerinin pencere açma davranışlarını inceleyerek bu durum üzerindeki etkili parametreleri belirleyip, bu parametreleri fiziksel çevresel faktörler, bağlamsal faktörler, psikolojik faktörler, fizyolojik faktörler ve sosyal faktörler olmak üzere beş gruba ayırmıştır.

Dış ortam sıcaklığı, bağıl nem, güneş radyasyonu, rüzgâr ve iklimsel (çevresel, fiziksel) parametreler, tüketicilerin termal konfor elde etmek için bina sistemleriyle etkileşimlerini etkileyen diğer önemli parametrelerdir. Bir araştırma çalışmasında (Rijal HB, 2011), farklı hücrel ofislerden oluşan bir ofis bloğunun bir örneğinde her hücrel ofisin bir penceresi olduğu ve bir kişi tarafından kullanıldığı düşünülmüştür; dış havanın soğuk ve tüm pencerelerin de kapalı olduğu varsayılmıştır. Oda sıcaklığının kademeli olarak artması durumunda, daha fazla tüketicinin çok sıcak hissettiği ve pencerelerini açtığı görülmüştür. Bu araştırmanın sonucu, farklı senaryolar kullanarak diğer etkinliklere genişletilebilen açık pencerelere sahip olma olasılığını göstermek için bir eğri olarak sunulabilir. İklim parametrelerinin tüketicilerin enerji davranışları üzerindeki etkisi, farklı iklim koşulları için yaygın olarak incelenmiştir. Bu parametreler zamana/tarihe bağlıdır, bu nedenle birçok çalışmada potansiyel sonuçların olasılığını tahmin etmek için stokastik modeller kullanılır. Tüketicilerin gerçek etkileşimlerinin veya enerji davranışı anketlerinin izlenmesi için yıl boyunca termal ölçümler tanıtılmakta ve bu iklimsel çalışmalarda kullanılmaktadır (Rijal HB T. P., 2011).

Bina tipi aktivitenin türünü, giyim tipini, metabolik ısı üretimini, tüketicilerin özel ihtiyaç ve beklentilerini aynı zamanda bina sistemleri ile olası etkileşim derecelerini belirlemeye yardımcı olmaktadır. Konut binalarına ve ofislere verilen dikkat seviyesi, inşaat sektöründeki toplam enerji tüketimi üzerindeki kritik etkilerinden kaynaklanmaktadır. Bazı çalışmalar ticari ve eğitim binalarını sınırlı bulgularla araştırmıştır. Sergiler ve sağlık merkezleri gibi diğer kamu binası türleri üzerinde daha seyrek çalışmalar yapılmıştır (Chen J, 2014).



Şekil 1 Enerji Davranışını Etkileyen Parametreler

Sosyal ve kişisel (psikolojik ve fizyolojik) parametreler, tüketicilerin konfor ve enerji tutumunda önemli bir rol oynamaktadır ve literatürde de geniş bir şekilde incelenmiştir. Martinaitis, Zavadskas (Martinaitis V, 2015), hanehalklarının enerji davranışlarını etkileyen sosyal ve kişisel faktörleri kullanıcıların enerji sorunları, cinsiyet, yaş, istihdam, aile büyüklüğü ve sosyo-kültürel aidiyet konusundaki farkındalığı olarak belirlemiştir. Bazı çalışmalar bir sosyal veya bireysel parametreyi tartışmıştır; örneğin, erkek ve kadının termal tercihleri arasındaki farklar bazı bilim adamları tarafından belirtilmiştir (Indraganti M, 2015). Bununla birlikte, bu alandaki sosyal ve kişisel faktörlerle ilgili en güvenilir ve kapsamlı çalışmalar, ofis binalarındaki tüketicilerin elektrik tüketimini incelemek için Tetlow, van Dronkelaar tarafından insan davranış teorilerini kullanarak iki parametreyi birleştirmesidir. Buna ek olarak, bazı bilim adamları, binalardaki enerji tüketimi tahminlerinin doğruluğunu artırmak için tüketicilerin davranışlarının sosyolojik yönlerini düzenleyen daha ayrıntılı niceliksel çalışmalar önermektedir (Tetlow RM, 2015).

Enerji fiyatı ve istihdam gibi enerji düzenlemeleri ve ekonomik parametreler çeşitli çalışmalarda tartışılmıştır. Araştırmalar, tüketicilerin elektrik faturalarını ödemekten doğrudan sorumlu olduklarında, enerji tasarrufu konusunda daha dikkatli davrandıklarını göstermektedir. Park ve Kim tarafından yapılan çalışmanın bulgularına göre (Park JS, 2012), ankete katılanların yarısından fazlası, mekanik fanların kullanımından kaçınmanın ve bir miktar rahatsızlık duymanın ana nedeni olarak enerji maliyetlerini göstermiştir. Sonuç olarak tüketicilerin, ekonomik durumunun konutlarının kalitesini ve boyutunu

belirleyebileceğini bunun sonucunda da enerji tüketimini etkileyeceği bulgusu ortaya çıkmıştır.

Mimarinin ve iç tasarım özelliklerinin tüketicilerin enerji davranışları üzerindeki etkisi geniş bir şekilde incelenmiştir. Mekanın iç tasarımı, bina açıklıklarının (pencere ve kapılar) görsel kalitesi, mimari dolaşım ve renkler, iç mekanların malzeme ve kompozisyonları da dahil olmak üzere, tüketicilerin davranışlarını farklı şekillerde etkileyebilmektedir. Ayrıca, aydınlatma tasarımı ile tüketicinin aydınlatma tüketimi de farklı çalışmalarda ele alınarak tüketicinin enerji davranışı üzerine olası etkileri ele alınmıştır. Gandhi ve Brager (Gandhi P, 2016), tüketicilerin ofis binalarındaki fiş yükü (elektrik ve aydınlatma) enerji tüketimi üzerindeki etkisini araştırmıştır.

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

#### 3.1. Enerji Davranışı Uygulamalarının İncelenmesi

Dünya’da birçok farklı ülkede hanehalkının tüketim performansını ve enerji davranışını gözlemek amacıyla farklı uygulamalar gerçekleştirilmiştir. Bu uygulamalar aracılığıyla tüketicilerin enerji kullanım davranışları ve kullanım sonrası enerji kullanımı değerlendirmesi çok sayıda araştırma projesinde ve raporlarında analiz edilmiştir.

Avrupa Çevre Ajansı (EEA) tarafından 2013 yılında yayımlanan “Davranış değişikliği yoluyla enerji verimliliğine ulaşmak: Ne gerekiyor?” raporu (European Environment Agency (EEA), 2013) enerji verimliliği sağlamak için tüketici davranışında değişikliği hedefleyen birtakım faaliyetleri ortaya koymaktadır.

Raporda verilen enerji verimliliğini sağlamak amacıyla kişilerin davranış değişikliğini hedefleyen faaliyetlere bağlı olarak Tablo 1’de verildiği üzere yaklaşık %5-%20 aralığında bir enerji tasarrufu potansiyeli olduğunu ortaya koymaktadır.

Tablo 1. Davranışı hedefleyen önlemler sayesinde elde edilebilecek potansiyel enerji tasarrufu

Faaliyet	Potansiyel Enerji Tasarrufu
<i>Geri Bildirim</i>	5-15%
<i>Doğrudan geri bildirim- akıllı sayaçlar ve ev içi ekranlar (In-Home Display (IHD))</i>	5-15%
<i>Dolaylı geri bildirim- gelişmiş faturalandırma, kişisel hedef belirleme ve geri bildirim</i>	2-10%
<i>Kişisel hedef belirleme ve geri bildirim</i>	5-15%
<i>Enerji denetimleri</i>	5-20%
<i>Toplum temelli girişimler</i>	5-20%
<i>Diğer önlemler (Bina sertifikasyonu ve etiketleme, Eko-tasarım, Müşteri Katılımı)</i>	5-20%

Enerji verimliliği konusunda davranış değişikliği hedefleyen faaliyetlerden “Geri Bildirim” enerji bilincinin artırılması ve tüketicilerin enerji tüketimine yönelik tutumlarının değiştirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Bu nedenle enerji verimliliğinin artırılmasına yönelik geri bildirim uygulamaları bu bölümde ele alınmıştır.

#### 3.1.1. Geri Bildirim Yöntemleriyle Tüketici Algısı Yönündeki Uygulamalar

Geri bildirim, etkili öğrenmede temel bir unsurdur: bu, ev içi ve ev dışı ortamlar için eşit derecede geçerlidir.

Bu noktadan hareketle akıllı sayaçların, doğrudan geri bildirim kapsamında değerlendirildiği görülmektedir. Özellikle Avrupa çapında ilgi çekici eve geri bildirim yoluyla hanehalkının enerji verimliliği konusunda farkındalığını artıran ve bu sayede de enerji davranışı değişikliği yaratabilen akıllı sayaçların yaygınlaştırılması noktasında Dünya çapında da bir takım yaygınlaştırma çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu konuda Danimarka, Amerika, İsveç ve İngiltere de gerçekleştirilmiş çalışmalar ve sonuçları incelenmiştir.

Danimarkalı bir enerji şirketi olan NRGi, 2009 ve 2012 yılları arasında müşteri tabanına 210.000 akıllı sayaç kurmuştur. Programın temel amacı, özellikle yenilenebilir enerji ve elektrikli araçların kullanımında beklenen artışı da göz önüne alarak bu yükü yayabilmek adına ve şebekeyi sürdürmenin daha ucuz yolları ile kendi şebeke altyapısını ve hizmet ağlarını geleceğe hazırlamaktır. Bu çalışma daha çok şebeke altyapısını güçlendirmeye yönelik bir çalışma olup burada tüketici davranışını değiştirmek veya enerji tasarrufu sağlamak programa özel olarak dahil edilmemiştir. Buna rağmen sahada akıllı sayaç kurulumları sırasında karşılan en büyük zorluklardan biri, müşterilere neden yeni bir sayaca ihtiyaç duyulduğu ve neden yeni özelliklerin eklendiğini açıklamak olduğu görülmüştür. Müşteriler, enerji tüketimini akıllı telefon veya Web üzerinden görüntüleme seçeneğine sahip olmasına rağmen tüketicilerin bu geri bildirim seçeneklerine çok fazla ilgi göstermediği gözlemlenmiştir. Bu noktada da tüketicilere ürünün tüm faydalarını net bir şekilde ifade etme ve bu sayede gerek kullanım gerekse enerji verimliliği farkındalığı yaratılması gerekliliği ortaya konulmuştur.

Tablo 2. Enerji tüketimiyle ilgili geri bildirim türleri

Geri Bildirim Türleri	
<b>Doğrudan Bildirim</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• PC üzerinden etkileşimli geri bildirim</li> <li>• Akıllı Sayaçlar</li> <li>• Tetikleyici cihazlar/ Tüketim limitleyiciler</li> <li>• Ön ödemeli sayaçlar</li> <li>• Kendi-kendine sayaç okuma</li> <li>• Danışman ile sayaç okuma</li> <li>• Maliyet gösteren prizler</li> </ul>

<b>Dolaylı Geri Bildirim</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>Sayaç okumalarına göre daha sık faturalar</li><li>Okumalara ve geçmiş geri bildirimlere dayalı sık faturalar</li><li>Okumalara ve normatif geri bildirimlere dayalı sık faturalar (benzer haneler ile kıyasama)</li><li>Sık faturalar ve ayrıştırmış geri bildirimler</li><li>Sık faturalar ve verimlilik önlemlerinde denetim teklifleri veya indirimler</li><li>Sık faturalar ve ayrıntılı yıllık veya üç aylık enerji raporları</li></ul>
<b>Kasıtsız Geri Bildirim</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>Yeni enerji kullanan ekipman</li><li>Dağıttık yenilenebilir enerji üretimi</li><li>Topluluk enerji tasarrufu projeleri ve sosyal öğrenme potansiyeli</li></ul>
<b>Enerji Denetimleri</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>Müşterinin inisiyatifıyla bir anketör tarafından yapılan</li><li>Bir ev satışının veya diğer zorunlu araştırmanın bir parçası olarak yapılan</li><li>Tüketici tarafından gayri resmi olarak yürütülen</li></ul>

Amerika Birleşik Devletleri'nde, Federal Enerji Düzenleme Komisyonu (FERC) tarafından enerji hizmet şirketleri arasında gelişmiş ölçüm kullanımı konusunda bir anket yapılmıştır. Bu, ankete katılan kamu hizmetlerinin %66'sının müşteri hizmetlerini geliştirmek için gelişmiş ölçüm kullandığını, %53'ünün kesinti ve diğer hat kayıplarını tespit etmek için, %42'sinin sağlanan elektriğin kalitesini iyileştirmek için, %39'unun varlık yönetimi için ve yalnızca %19'unun talep yanıtını teşvik etmek için kullandığını ortaya konulmuştur.

Bunun yanında İsveç'te akıllı sayaçların yaygınlaştırılması ve tüketicinin programa dahil olması ile alakalı olarak; İsveç'te sayaç dağıtım programı 2006'da başlamıştır. Bunu takiben 2009'da ülke çapındaki 5,2 milyon müşterinin tümü için zorunlu aylık sayaç okumasının başlatılmasıyla da sonuçlanmıştır. Ekim 2012 itibarıyla, tüm müşteriler isterlerse saatlik okumalara sahip olabilir, ancak bu ayrıntı, üçüncül ve endüstriyel sektörlerdeki müşteriler için zorunlu hale getirilmiştir. Mayıs 2012'de İsveç hükümeti, rolü 'akıllı şebeke alanındaki farklı aktörler arasında iş birliği ve bilgi aktarımını koordine etmek ve teşvik etmek ve İsveç'te akıllı şebekenin gelişimini hızlandırmak için teklifler sunmak' olan Akıllı Şebeke Koordinasyon Konseyi'ni atamıştır. İsveç'te, elektrik faturalandırması şikayetlerin bir numaralı nedeni olduğundan tahminler yerine gerçek tüketim verilerine dayalı daha doğru faturalandırma, akıllı sayaç kullanımının ana nedeni olmuştur.

Bu çalışma ile İsveç, iletim ve dağıtım sistemindeki enerji kaybında yaklaşık %9'luk azalma gibi orijinal kapsamın ötesinde da faydalar sağladığı görülmüştür. İsveç deneyiminde akıllı sayaçların tanıtılmasıyla kolaylaştırılan daha ilgili tüketicilere

sahip olmanın ön koşulları olarak aşağıdakileri içermesi gerektiği ortaya konulmuştur:

- Dinamik fiyatlandırma
- Müşteriye sağlanan fatura bilgilerinde, son kullanıcı fiyatını oluşturan çeşitli unsurlar (şebeke tarifeleri, vergiler, vb.) arasında net bir ayırım
- Tedarikçiler arasında veya aynı tedarikçi tarafından sunulan farklı hizmetler arasında seçim yapma seçenekleri
- Tüketim değişiminin elektrik maliyeti üzerindeki etkisine ilişkin net bilgiler (örneğin yoğun dönemden yoğun olmayan dönemlere).

Bu çalışmaların yanı sıra, akıllı sayaçların piyasaya sürülmesi ile tüketicilerin enerji tüketimlerini izleyebileceği zorunlu bir Ev İçi Ekran (IHD- In Home Display) kullanımını da beraberinde gerektirmektedir. Bu sayede Tüketiciler bu IHD üzerinden enerji tüketimlerini izleyebilmekte ve tüketimlerinin farkında olabilmektedirler.

2019 yılında bağımsız pazar araştırma ajansı Future Thinking İngiltere'de BEAMA'nın üyelerinin sunduğu IHD tasarımlarının ve hizmetlerin sürekli iyileştirilmesini ve tüketicilerin enerji verileri yolunda ne beklediğini anlamasını sağlamasına yardımcı olmasını hedefleyen bir araştırma çalışması gerçekleştirmiştir (Future Thinking, 2019).

Future Thinking tarafından yürütülen bu araştırmanın amacı, enerji verimliliği konusundaki davranışların, alışkanlıkların ve müşteri anlayış düzeylerinin IHD'lerden nasıl etkilenebileceğini ve IHD'lerin tasarımı ve işlevinin müşterilere nasıl yardımcı olabileceğini keşfetmektir. Yapılan bu çalışmada tüketicilerin davranış ve alışkanlıkların neler olduğu, ev içi ekranların fonksiyonları ve tasarımları ile tüketicilerin (kullanıcıların) anlama düzeyinin ne olduğu araştırılmıştır.

Farklı tüketici türlerinin evlerindeki gerçek davranışlarına ilişkin zengin, "anlılık" bir anlayış sağlamak için en uygun araştırma tasarımı olarak nitel bir yaklaşım değerlendirilmiştir. Örneklem olarak farklı müşteri türlerinden seçim yapılarak bir örneklem oluşturulmuştur. Katılımcılar, IHD'yi "en azından ara sıra" kurmuş ve onunla meşgul olduklarına dayanarak çalışmaya alınmıştır. Saha çalışması için iki aşamalı bir yaklaşım kullanılarak, demografik özellikler, yaşam aşamaları, yaşlar, konumlar, IHD'lerle katılım ve kurulumdan bu yana geçen süreyi kapsayan tam denetimli bir grup elde edilmiştir. Araştırma kapsamında 35 yerli enerji tüketicisi dahil edilmiştir.

Yapılan çalışmada katılımcıların, kurulu IHD'lerin farkında olma düzeyleri, kullanım süresi farklı olanlar üzerinden değerlendirilmiştir. Bunun yanında bu cihazların kurulumları açısından, konumlandırılmasıyla oluşabilecek farklılıklar değerlendirilmiştir, bunun için hanehalkının en sık kullandığı alanlarda konumlananlar ile daha az sıklıkta kullanılan odalara yerleştirilmesinden doğan farklılıklar değerlendirilmiştir. Diğer taraftan müşteri deneyimi açısından da bir değerlendirme ele alınmıştır. Araştırma katılımcıları, farklı sayıda kişi yaşayan haneler, hanelerde yaşayan kişilerin çalışma saatleri ve şekillerinin farklılık gösterecek şekilde seçilmesiyle bu hanelerdeki müşteri deneyimi ve bağlılığı değerlendirilmiştir. Hanelerdeki farklı senaryolar üzerinden davranışsal değişimler gözlemlenmiştir.

Yapılan saha çalışması ve analiz sonucunda, insanların IHD'leriyle etkileşime geçmek için sahip oldukları temel motivasyonlar maliyetleri azaltmak veya israfı azaltmak olduğu sonucu ortaya çıkmıştır.

Maliyet tasarrufu sağlayanlar, daha düşük gelirleri veya kiralık konutları içerebilen finansal olarak kısıtlı ortamlarda yaşama eğilimindedir. Mali durumlarını yakından izledikleri için IHD'ler üzerinden düzenli olarak enerji tüketimlerini izlemişler ve enerji harcamalarını net bir şekilde bütçelendirebildikleri sonucu ortaya çıkmıştır.

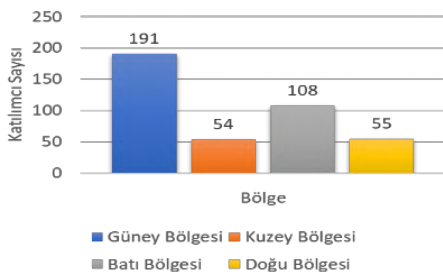
Diğer bir grup olan daha yüksek ve istikrarlı hane gelirine sahip olan katılımcıların motivasyonunun ise “enerji israfından kaçınmak” olduğu sonucu elde edilmiştir. Bu grubun motivasyonu enerji verimliliği sağlamaya yöneliktir. Hanelerinde kullanılan ev aletlerinden, enerjinin kullanım noktalarındaki çoğu faaliyetin enerji verimliliği dikkate alınarak gerçekleştirildiği ortaya çıkmıştır.

Bu kapsamda incelenen farklı geri bildirim projelerinden hareketle doğrudan geri bildirim uygulamaları sonucu elde edilebilecek enerji tasarrufu 5-15% seviyelerinde olduğu sonucu ortaya konulmuştur.

### 3.1.2 Bilgi ve Davranışa Yönelik Uygulamalar

Enerji verimliliği farkındalığı tüketicilerin enerji verimliliği konusundaki bilgi ve uygulamalarını içeren bir kavramdır. Her iki değişkenin de bir arada bulunması enerji verimli davranışların artmasını sağlamaktadır. Bu nedenle bu değişkenlerin birbirleriyle ilişkisi oldukça önemlidir. Bu değişkenlerin birbiriyle ilişkisi, bilgi düzeyleri, davranış ve tutum düzeyi ve bunların farkındalık ile ilişkilerini incelemek amacıyla yapılmış çalışmalar bu bölümde ele alınmıştır.

Uzak Doğu ülkelerinden Malezya Yarımadası'nda, konutlar için enerji verimliliği konusunda tüketici farkındalığı çalışmasında hane halkı enerji tüketiminde insan davranışının etkileri üzerine dört bölgeden 408 katılımcının yer aldığı bir anket uygulaması gerçekleştirilmiştir (Rahman, Leman, Yusof, & Salleh, 2016). Bu çalışmanın amacı, tüketici farkındalığı bilgisi ve uygulaması olan iki davranışın bir kombinasyonunun ilişkisinin belirlenmesidir.



Şekil 2. Bölgelere Göre Anket Katılımcı Sayısı

Yapılan çalışmada anketler, Kedah, Perlis ve Penang'dan toplamda 54 katılımcının yer aldığı Kuzey bölgesi, Negeri Sembilan, Johor ve Malacca'dan 191 katılımcının yer aldığı Güney bölgesi, Terengganu, Pahang ve Kelantan'dan 55 katılımcının yer aldığı ve Perak, Selangor ve Wilayah Persekutuan'yı içeren Batı Malezya'dan toplamda 108 katılımcının yer aldığı bölgelerde uygulanmıştır.

Anket uygulamalarının sonuçları enerji verimliliği konusunda bilgi ve uygulama olan farkındalığın her iki değişkenine göre aşağıdaki şekilde değerlendirilmiştir.

### - Bilgi ve Uygulama İlişkisi

Bilgi ve uygulama arasında, Tablo 3'te gösterildiği gibi istatistiksel olarak ( $r = 0.348$ ,  $n = 408$ ,  $p < 0.01$ ) anlamlı ve pozitif yönde bir korelasyon ortaya çıkmıştır. Bu noktada çalışmaya katılan kişilerin bilgi seviyelerinin enerji tüketiminde anlamlı bir ilişkisi olduğunu ve enerji tüketimine etkisi olduğunu söylemek yanlış olmayacaktır

Tablo 3. Bilgi ve Uygulama Arasındaki Korelasyon

		Bilgi	Uygulama
Bilgi	Pearson Korelasyon	1	0.348**
	N	408	408
Uygulama	Pearson Korelasyon	0.348**	
	N	408	408

\*\* $p < 0.01$

### - Bilgi ve Farkındalık İlişkisi

Her iki değişkenin analizinden çıkan sonuçlara bakıldığında ( $r = 0.120$ ,  $n = 408$ ) iki değişken arasında anlamlı ve pozitif bir ilişki olduğu ortaya çıkmıştır.

Tablo 4. Bilgi ve Farkındalık Arasındaki Korelasyon

		Farkındalık	Bilgi
Farkındalık	Pearson Korelasyon	1	0.120*
	N	408	408
Bilgi	Pearson Korelasyon	0.120*	
	N	408	408

\* $p < 0.05$

### - Farkındalık ve Uygulama İlişkisi

Cohen'e göre (Cohen, 1988), Pearson'un  $r$  değeri 0,50 ile 1,00 arasında ise korelasyonun güçlü bir ilişkiye sahip olduğunu öne sürmektedir.

Tablo 5. Farkındalık ve Uygulama Arasındaki Korelasyon

		Farkındalık	Uygulama
Farkındalık	Pearson Korelasyon	1	0.814**
	N	408	408
Uygulama	Pearson Korelasyon	0.814**	1
	N	408	408

\*\* $p < 0.01$

Analiz sonucunda, iki değişken arasında anlamlı ( $r = 0.81$ ,  $n = 408$ ) ve pozitif yönde güçlü bir ilişki olduğu ortaya çıkmıştır.

Bu çalışma, sonuç olarak bilgi ve uygulamanın konutlar için enerji verimliliği yaklaşımını uygulamak için farkındalığın ana bileşeni olduğunu ortaya koymuştur. Her iki bileşenin, tüketiciler arasında enerji tasarrufu bilincini artırmak için birlikte uygulamaya konulması gerekliliği ileri sürülmüştür.

Bu yönde yapılan diğer bir çalışma ise Türkiye'de Enerji Verimliliği ve Çevre Dairesi Başkanlığı ile Enerji Verimliliği Derneği tarafından Ulusal olarak enerji verimliliğinin hem bilgi hem de davranış boyutunda gelişimini tespit etmek üzere “kamuoyunda enerji verimliliği bilinç endeksi” ölçümleyen



“Enerji Verimliliği Bilinç Endeksi Kantitatif Araştırma raporu hazırlanmış ve Mayıs 2020 itibarı ile yayınlanmıştır.

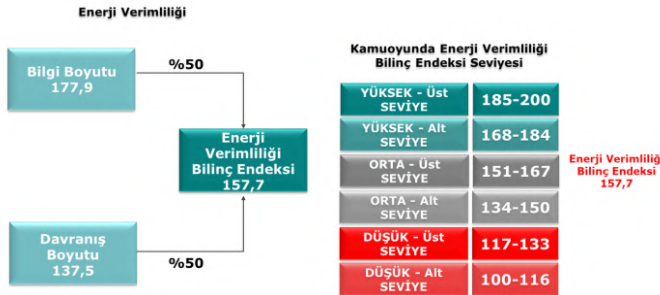
Bu araştırmanın amacı; Türkiye’de kamuoyunun enerji verimliliğine yönelik bilgi, ilgi ve davranış düzeyini tespit etmek, enerji verimliliği konusunda bilgi, bilinç düzeyi ve uygulama boyutunu arttırmaya yönelik bulgulara ulaşmak, kamuoyunda Enerji Verimliliği Bilinç Endeksi için gerekli KPI’ları (Anahtar Performans Kriterleri) tespit etmektir (ETKB-EVÇED ve ENVER, 2020).

Çalışma kapsamında IBBS-Düzyey 2 temsilen aşağıdaki haritada yer alan 26 ildeki kent merkezlerinde ikamet eden 16 yaş üzeri toplamda 3000 kişi ile yüz yüze anket çalışması gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3. Araştırmanın Gerçekleştirildiği İller ve Örneklem Dağılımı

Yapılan bu çalışma kapsamında enerji verimliliğine yönelik bilgi, ilgi ve tutum, davranış gibi boyutlara yönelik endeks değerlerinin belirlenmesi amacıyla gerek demografik gerekse enerji verimliliği sağlamaya yönelik çeşitli önlemlerin bilinip bilinmediği, uygulanıp uygulanmadığı araştırılmıştır. Yapılan bu araştırmada bilgi ve davranış boyutları %50 oranında ağırlıklandırılarak “Enerji Verimliliği Bilinç Endeksi” hesaplanmıştır.



Şekil 4. Enerji Verimliliği Bilinç Endeksi

Çalışma sonucunda elde edilen veriler üzerinden yapılan analizler aracılığıyla Türkiye genelini temsil eden örneklemin enerji verimliliği bilinç endeksi 0-200 değer aralığında 157,7 olarak elde edilmiştir. Bu değer de kamuoyunun enerji verimliliği konusunda orta-üst seviyede bilinç düzeyi olduğunu göstermektedir. Kamuoyunda Enerji Verimliliği Bilgi Boyutu 177,9 olarak tespit edilmiştir. Bu değer, kamuoyunun enerji verimliliği konusunda yüksek-alt seviyede bilgi düzeyi olduğunu göstermektedir. Kamuoyunda Enerji Verimliliği Davranış Boyutu ise 137,5 olarak tespit edilmiştir. Bu değer, enerji verimliliği konusunda davranış boyutunun orta-alt seviyede olduğunu ifade etmektedir. Bilginin davranışa dönüşündeki açıklık, ilgili tüm paydaşlar ile çalışılması gereken gelişim alanını ortaya koymaktadır.

## 4. Sonuç

Bu makalede, enerji verimliliği ve enerji tasarrufu konularının tüketiciler tarafından nasıl değerlendirildiği ve bu farkındalık düzeyinin artırılmasına yönelik Dünya genelinde yapılmış uygulamalar incelenmiştir.

Enerji verimliliğini sağlamak ve devamlı kılmak birçok faaliyet ile mümkündür. Bu faaliyetlerin çoğu teknolojik müdahaleleri içerir, ancak enerji tüketimindeki farkındalıklar da dahil olmak üzere bazı önlemler tüketici davranışlarına dayanmaktadır. Tüketiciler arasında enerji tasarrufu bilincini vurgulamak iki ana bileşen olan bilgi ve uygulama ile sağlanabilmektedir.

Tüketici davranışlarında değişiklik yapılması hedeflendiğinde davranışlarının hangi parametrelerden etkilendiğini bilmek de oldukça önemli bir konudur. İnsan davranışı dinamiktir ve insan sosyal bir varlıktır. Bu nedenle tüketicilerin davranışlarını etkileyen birtakım faktörler incelenmiş ve bunların çeşitli fizyolojik, psikolojik ve sosyal faktörler olduğu ortaya konmuştur. Bu anlamda gerek kişilerin konfor tercihleri, dış ortam sıcaklıkları, yaş-gelir düzeyi vb. gibi demografik faktörler, enerji fiyatlandırması, binanın tipi ya da tasarımı gibi birçok alt faktör kişiden kişiye göre değişmekte ve tüketicilerin davranışlarını etkilemektedir. Bu nedenle de tüketici davranışlarını değiştirmeye yönelik yapılacak çalışmada bu faktörler göz önünde bulundurulmalıdır.

Dünya’da ve Türkiye’de tüketici davranışlarının değişmesiyle enerji verimliliği sağlanması konusunda yapılmış birçok çalışma incelenmiştir. Bu doğrultuda, enerji verimliliği teknoloji odaklı bir kavramdır. Enerji verimliliği sağlayan uygulamalar ve cihazlar teknolojik yenilikler vasıtasıyla gerçekleştirilmiş ve tüketicilere sunulmuştur. Tüketicilerin enerji tasarrufu etmesi ve enerji verimliliğini artırmasına yönelik farklı yöntemler mevcuttur. Tüketiciler, enerji verimliliği sağlayan ürünler sayesinde tasarruf edebilecekleri gibi çeşitli geri bildirim mekanizmaları vasıtasıyla enerji farkındalığını artırabilir ve tasarruf sağlayabilirler.

Enerji verimliliğinde tüketici algısı ile ilgili yapılmış uygulamalarda kişilerin enerji verimliliği konusundaki bilgi, ilgi ve tutum düzeyi ile bunları ne ölçüde davranışlarına yansıttıkları da ortaya konulmuştur. Tüketicilerin bir noktaya kadar davranışlarının enerji tasarrufu sağlaması noktasında bilgisi olsa dahi çeşitli sosyal, psikolojik ve fizyolojik faktörlerden kaynaklı olarak enerji verimli davranışı sergileyemedikleri görülmüştür.

Bu nedenle enerji verimliliği ve tasarrufuna yönelik gerçekleştirilmesi hedeflenen uygulamalarda bu tür parametrelerin de dikkate alınması gerekmekte ve kişilerin bilgi ve davranış düzeyleri arasındaki ilişki unutulmamalıdır.

## 5. Teşekkür

Bu makale, ADM ve GDZ Elektrik Dağıtım AŞ. ile beraber gerçekleştirilen tüketici farkındalığı ile enerji verimliliği sağlanmasına yönelik EPDK destekli ar-ge projesi kapsamında gerçekleştirilen araştırma sonuçlarını içermektedir.

Bu araştırma süresince vermiş oldukları katkılar adına ADM ve GDZ Elektrik Dağıtım AŞ.’ye teşekkürlerimizi sunarız. Bu çalışmanın ortaya çıkmasındaki katkılarından dolayı Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu’na teşekkür ederiz.

## Kaynakça

- BP. (2019). *BP Statistical Review of World Energy 2019*.
- Chen J, A. C. (2014). Assessing occupants' energy load variation through existing wireless network infrastructure in commercial and educational buildings. *Energy and Buildings*(82), 540-549.
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- EIA. (2019). *EIA International Energy Outlook 2019*.
- ETKB-EVÇED ve ENVER. (2020). *Enerji Verimliliği Bilinç Endeksi Kantitatif Araştırma Raporu*. EVÇED, ENVER.
- European Environment Agency ( EEA). (2013). *EEA Technical report: Achieving energy efficiency through behaviour change: what does it take?* Denmark: EEA.
- Fabi V, A. R. (2012). Occupants' window opening behaviour: a literature review of factors influencing occupant behaviour and models. *Build Environ* (58), 98-188.
- Fragidis, G., & Detlef , O. (2015). *Consumer awareness and engagement for energy efficiency solutions*. Berlin: CleopaGmbH.
- Future Thinking. (2019). *The Effectiveness & Consumer Experience of In-Home Displays*. London: BEAMA .
- Gandhi P, B. G. (2016). Commercial office plug load energy consumption trends and the role of occupant behavior. *Energy and Buildings*(125), 1-8.
- Hussain, T. S., Ismail, H., & Noh, M. (2013). PERKEM Proceedings.
- Hussaini, I. U., & Majid, N. A. (2014). Human behaviour in household energy use and the implications of energy efficiency delivery: A case of Bauchi, Nigeria. *International Journal of Energy Sector Management*, 8(2), 230-239.
- Indraganti M, O. R. (2015). Thermal comfort in offices in India: behavioral adaptation and the effect of age and gender. *Energy and Buildings*(103), 284-295.
- International Energy Agency. (2018). *World Energy Outlook 2018*. IEA.
- MacKay, D. J. (2008). *Sustainable Energy - without the hot air*. UK: UIT Cambridge.
- Majid, N. H., Salehudin, M. S., Rahim, Z. A., & Othman, R. (2016). Procedia - Social and Behavioral Sciences, 170, 527. *MATEC Web Conf. Volume 78, 2016 2nd International Conference on Green Design and Manufacture 2016 (IConGDM 2016)*.
- Martinaitis V, Z. E. (2015). Importance of occupancy information when simulating energy demand of energy efficient house: a case study. *Energy and Buildings*(101), 64-75.
- N.H. Abdul Majid, H. I. (2011). *Third International Conference on Applied Energy*.
- Park JS, K. H. (2012). A field study of occupant behavior and energy consumption in apartments with mechanical ventilation. *Energy and Buildings*(2012), 19-25.
- Rahman, K. A., Leman, A. M., Yusof, M. M., & Salleh, M. N. (2016). Consumer Awareness in Energy Efficiency for Residential Houses in Peninsular Malaysia. *MATEC Web of Conferences* 78.
- Rijal HB, H. M. (2013). Investigation of comfort temperature, adaptive model and the window-opening behaviour in Japanese houses. *Architectural Science Review*(56), 54-69.
- Rijal HB, T. P. (2011). An algorithm to represent occupant use of windows and fans including situation-specific motivations and constraints. *Journal of Building Performance Simulation*(4), 34-117.
- Tetlow RM, v. d. (2015). Identifying behavioural predictors of small power electricity consumption in office buildings. *Build Environ*(92), 75-85.
- Topal, A., & Özoğlu, B. (2018). Enerji Verimliliği ve Enerji Tasarrufunun Sürdürülebilir Tüketim Perspektifinden Değerlendirilmesi. *5th International Congress on Political, Economic and Social Studies (ICPESS)*. Niğde.
- Turhan, Ö., Yıldız, S., Ediger, V., Bayraktaroğlu, P. D., Ediger, P. D., Kılınç, D. İ., . . . Filinte, M. (2010). *Türkiye Enerji ve Enerji Verimliliği Çalışmaları Raporu*. TEVEM;ENVERDER.
- Ueno, T., Inada, R., Saeki, O., & Tsuji, K. (2006). Effectiveness of an energy consumption information system for residential buildings. *Applied Energy*, 83(8), 868-883.



# Novel Synthesis of Good Electrochromic Performance WO<sub>3</sub> Nanoplates Grown on Seeded FTO

Sibel Morkoç Karadeniz<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup>Erzincan Binali Yıldırım University, Faculty of Arts and Science, Department of Physics, Erzincan, Turkey,(ORCID: 0000-0002-3215-1300),  
[morkocsibel@gmail.com](mailto:morkocsibel@gmail.com)

(First received XXXX and in final form XXXX)

(DOI:10.31590/ejosat.)

**ATIF/REFERENCE:** Morkoç Karadeniz, S. (2021). Novel Synthesis of Good Electrochromic Performance WO<sub>3</sub> Nanoplates Grown on Seeded FTO. *European Journal of Science and Technology*, (27), 718-722.

## Abstract

Tungsten trioxide (WO<sub>3</sub>) has applications in various electrochromic devices and is fabricated using various techniques, which affect its electrochromic properties. In this study, tungsten trioxide (WO<sub>3</sub>) nanoplates were synthesised via a two-step facile synthesis process using a hydrothermal technique on seeded fluorine-doped tin oxide (FTO) glass substrates. WO<sub>3</sub> nanoplates with high porosity were obtained using a fast and simple hydrothermal method. First, a seed layer was grown on FTO using a spin coating process. WO<sub>3</sub> nanoplates were then quickly synthesised on the seeded FTO glass using a hydrothermal technique at 200 °C for 1h. The nanoplates were characterized by using XRD, SEM, Chronoamperometry and Cyclic Voltammetry techniques. The WO<sub>3</sub> nanoplates have got a crystal structure mixed monoclinic and hexagonal phases. The crystal grain sizes of the film was found to be 36 and 53 nm for the (011) and (200) sharpest crystal planes of monoclinic and hexagonal crystal phases respectively. The switching times of WO<sub>3</sub> nanoplates were determined as 1.28 s for colouration and 5.50 s of bleaching, and the diffusion coefficient was calculated as 4.2×10<sup>-10</sup> cm<sup>2</sup>/s. As a result, the nanoplate structures with high porosity were successfully obtained and the WO<sub>3</sub> nanoplates showed good electrochromic performance with a good crystal structure, high diffusion coefficient, and short ion insertion time.

**Keywords:** Nanoplates, WO<sub>3</sub>, Hydrothermal Method.

## İyi Elektrokromik Performans Gösteren WO<sub>3</sub> Nanoplakaların Çekirdeklenmiş FTO Üzerine Yeni Sentezi

### Öz

Tungsten trioksit (WO<sub>3</sub>), çeşitli elektrokromik cihazlarda uygulamalara sahiptir ve elektrokromik özelliklerini etkileyen çeşitli teknikler kullanılarak üretilir. Bu çalışmada, tungsten trioksit (WO<sub>3</sub>) nanoplakalar, tohumlanmış flor katkılı kalay oksit (FTO) cam altlıklar üzerinde hidrotermal teknik kullanılarak iki aşamalı bir kolay bir sentezleme süreci ile sentezlenmiştir. Yüksek gözenekli WO<sub>3</sub> nanoplakalar hızlı ve kolay hidrotermal metot kullanılarak sentezlenmiştir. Öncesinde Döndürmeli Kaplama işlemi kullanılarak FTO üzerine bir çekirdek tabaka büyütülmüştür. WO<sub>3</sub> nanoplakalar ise, 200 °C de 1 saat süreyle hidrotermal teknik kullanılarak çekirdek tabaka oluşturulmuş FTO camların üzerine hızlı bir şekilde sentezlenmiştir. Bu yapılar XRD, SEM, Kronoamperometri ve Döngüsel Voltametri teknikleri ile karakterize edilmiştir. WO<sub>3</sub> nanoplakalar, monoklinik ve hegzagonal kristal fazın karışımı olan bir kristal yapısına sahiptirler. Filmin kristal parçacık boyutu sırasıyla (011) ve (200) en şiddetli monoklinik ve hegzagonal kristal fazları için 36 ve 53 nm olarak hesaplandı. WO<sub>3</sub> nanoplakaların anahtarlanma süreleri renklenme için 1.28 s ve şeffaflaşma için 5.50 saniye olarak bulundu aynı zamanda difüzyon katsayısı da 4.2×10<sup>-10</sup> cm<sup>2</sup>/s olarak belirlendi. Sonuç olarak yüksek gözenekliliğe sahip nanoplaka yapılar başarıyla elde edilmiş ve WO<sub>3</sub> nanoplakalar, iyi bir kristal yapısı, yüksek difüzyon katsayısı ve kısa iyon ekleme süresi ile iyi elektrokromik performans göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Nanoplakalar, WO<sub>3</sub>, Hidrotermal Metot.

\*Corresponding Author:[morkocsibel@gmail.com](mailto:morkocsibel@gmail.com)

## 1. Introduction

As a wide-band-gap n-type semiconductor and due to multiple oxidation states, WO<sub>3</sub> has been used in various devices such as electrochromic devices, gas sensors, and photocatalytic cells [1]. WO<sub>3</sub>, which has been widely studied because of its high colouration efficiency and high cyclic stability compared with other transition metal oxides, can switch between colourless and a blue colour reversibly with oxidation/reduction reactions (injection/extraction of the ions such as H<sup>+</sup>, Li<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup> by alternately applying a small positive or negative voltage [2,3]. In particular, h-WO<sub>3</sub> thin films show good electrochromic colouration efficiency [4].

Electrochromic WO<sub>3</sub> thin films have been synthesised by several techniques such as sol-gel [5], pulsed spray pyrolysis [6], thermal evaporation [7], sputtering [8], and hydrothermal synthesis [9, 10]. In this paper, we report the synthesis of WO<sub>3</sub> nanoplates prepared by a simple hydrothermal synthesis method.

Several studies have reported the production of tungsten oxide using hydrothermal techniques but tungsten oxide structures have been obtained as a powder by long-term synthesis at high temperatures by a salt-acid assisted process [1, 9, 11–14]. It has also been formed without the use of any seed layers on the substrate [15–20].

In this study, WO<sub>3</sub> nanoplates with high porosity were obtained using a fast and simple method in two steps. First, a seed layer was grown on FTO using a spin coating process. WO<sub>3</sub> nanoplates were then synthesised on the seeded glass using a hydrothermal technique. Spin Coating and Hydrothermal synthesis techniques have several advantages such as a broad deposition area, low cost and easy of use for the technological applications, and especially hydrothermal method is used for obtaining nanostructures in specific shape and size [21].

In this study, a rapid and simple methodology was developed to synthesize WO<sub>3</sub> nanoplates with highly crystalline and high-electrochromic performance. The nanoplates which were easily obtained firstly in a short time and high temperature with using Hydrothermal Method can be exhibited high performance in the Electrochromic applications.

## 2. Material and Method

A WO<sub>3</sub> seed layer was grown on FTO substrates using the spin coating method. Tungsten powder was dissolved in 30 % hydrogen peroxide within a temperature range of 0–10 °C. Ethanol was added to the solution at a volume ratio of 1:3. The solution was aged for two months to obtain stability. The spin coating process was performed on FTO at 3000 rpm for 25 s. The WO<sub>3</sub> seed layer was achieved by repeating the spin process 10 times. After each spin process, the samples were dried at 200 °C for 5–10 min. The seed layers were then annealed at 400 °C for 2h.

Atypical hydrothermal synthesis was used; 3.29 g sodium tungstate dihydrate powder (Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O) was dissolved in 40 mL deionised water. Solution pH was adjusted to 2 pH by adding HCl (3 M). The solution was stirred for 60 min. The resulting solution was transferred to a 50 mL Teflon stainless steel autoclave. The hydrothermal synthesis was carried out at 200 °C for 1h and the nanoplates were obtained during the

hydrothermal reaction. After hydrothermal process, the films were washed with deionized water a few times to clean up residues. Finally, The films were dried in the air oven 80-100 °C for 10 minutes.

## 3. Results and Discussion

X-ray diffraction (XRD) datas were recorded using Panalytical Empyrean X-ray diffractometer (operated at 45 kV and 40 mA with CuK $\alpha$  radiation ( $\lambda = 1.5406 \text{ \AA}$ ), Scanning type: continuous, incidence angle:  $\sim 50^\circ$  (2 $\theta$ )) for structural properties of the films. The XRD patterns of the films are shown in Figure 1. The XRD pattern of WO<sub>3</sub> showed highly intense and sharp diffraction peaks positioned at  $2\theta$  between  $24^\circ$  and  $30^\circ$ . The sharp peak can be indexed to the (200) plane, which belongs to the hexagonal phase of WO<sub>3</sub>, in accordance with the powder diffraction film number 33-1380 of the International Centre for Diffraction Data (ICDD). The other sharp peak can be indexed to the (011) plane, which belongs to a single phase of WO<sub>3</sub> with a monoclinic crystal structure, in accordance with the powder diffraction film number 43-1035 of the ICDD. Mixed crystal structure was obtained. However, the hexagonal crystal phase is more dominant than the monoclinic crystal phase in the structure. Therefore a and c lattice parameters for the (200) and (002) reflection of the hexagonal crystal phase were determined by using Equation 1 :

$$\frac{1}{d^2} = \left[ \frac{4}{3} \times \frac{h^2 + hk + k^2}{a^2} \right] + \frac{1}{c^2} \quad (1)$$

where d was determined which is measured by XRD device as 3.07927 Å for (200) reflection and 1.95436 Å for (002) reflection. The lattice parameters of hexagonal crystal phase were calculated as a = 7.112 Å and c = 3.909 Å which are in good agreement with the literature value ( a = 7.298 Å and c = 3.899 Å) [22]. The unit cell volume of the hexagonal crystal was calculated as 171.217 Å<sup>3</sup> using hexagonal unit cell volume formula [23].

The grain size (D) using Scherrer's formula, as given in Equation 2 and the dislocation density ( $\delta$ ) was estimated using Equation 3 [24] :

$$D = \frac{0.9 \lambda}{\beta \cos \theta} \quad (2)$$

$$\delta = \frac{1}{D^2} \quad (3)$$

XRD data of the WO<sub>3</sub> nanoplates were given at Table 1. According to Table 1, it was concluded that the maximum peaks of WO<sub>3</sub> nanoplates with hexagonal and monoclinic crystal systems, which have small  $\delta$ -values and large D-values, indicate a good crystal structure.

Table 1. XRD data of (011) monoclinic and (200) hexagonal planes of the WO<sub>3</sub> nanoplates

(hkl)	$2\theta^\circ$	d-spacing Å	FWHM [ $^\circ 2\theta$ ] (lines/m <sup>2</sup> )	D(nm)	$\delta \times 10^{15}$
(011) monoclinic	25.1439	3.53891	0.235	36	0.7716
(200) hexagonal	28.3936	3.07927	0.159	53	0.3560

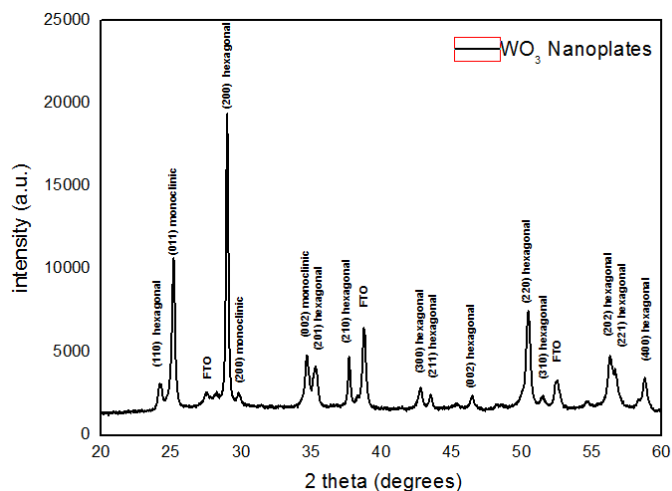


Figure 1. XRD spectra of the WO<sub>3</sub> nanoplates

The electrochromic performance of WO<sub>3</sub> is closely related to its crystalline, and by increasing the porosity and precisely controlling the crystal size, crystalline WO<sub>3</sub> films with both good electrochromic stability and fast response can be achieved [3].

Field emission scanning electron microscopy (FESEM) is FEG Quanta 259 model for using investigation of morphological properties of the films. SEM images of the samples are shown in Figure 2. The growth process on the FTO substrates occurred in two steps: the nucleation form, which involves the decomposition of clusters of molecules by the spin coating method and growth of the nanoplate form that is obtained by reactions with the particles combining to form nuclei on the substrate.

The high-porosity WO<sub>3</sub> nanoplate arrays were grown smooth and directly oriented due to the seeded FTO substrate. After the hydrothermal process, the WO<sub>3</sub> film consisted of regular aggregated nanoplates with sizes ranging from tens to hundreds of nanometres. The average size of the nanoplate arrays was estimated to be 125 nm s 625 nm.

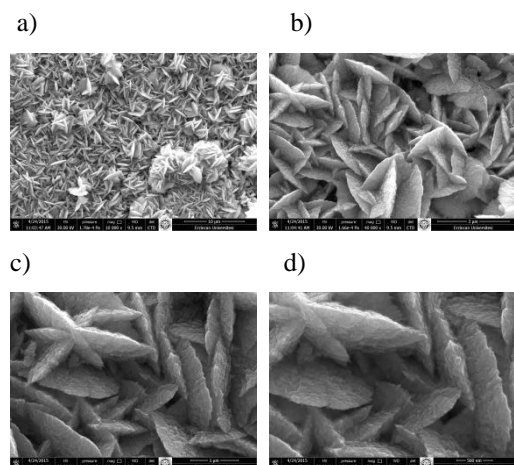


Figure 2. SEM images of the WO<sub>3</sub> nanoplates at a) 10000, b) 40000, c) 80000 and d) 120000 magnifications.

EC (Electrochromic) performance of the WO<sub>3</sub> nanoplates were studied by using cyclic voltammetry (CV) and Chronoamperometry (CA) methods using a Gamry Potentiometer. CV and CA curves recorded for the thin films are shown in the Figure 3 with a linear potential sweep between -2 and 1V. Intercalation and deintercalation process of Li<sup>+</sup> ions

were carried out using a 0.5 M LiClO<sub>4</sub>/propylene carbonate electrolyte solution and the Platine is used as the counter electrode, AgCl is used as the reference electrode, and the thin film is used as the working electrode. The WO<sub>3</sub> nanoplates exhibited good electrochromic performance.

The diffusion constant for the Li<sup>+</sup> ions was calculated as  $4.2 \times 10^{-10} \text{ cm}^2/\text{s}$  using the Randles-Sercvik equation, for the intercalation process. The high diffusion coefficient for intercalation of Li<sup>+</sup> ions into WO<sub>3</sub> was in the range of  $1.5 \times 10^{-12} < D(\text{Li}^+) < 5 \times 10^{-9} \text{ cm}^2/\text{s}$ ; additionally, the diffusion coefficient was found to be in good agreement with the diffusion coefficient calculated by hydrothermal and CBD methods [25–27]. The threshold voltage (E<sub>t</sub>) is indicated in Figure 3, which corresponds to the rapid surge of Li<sup>+</sup> ionic intercalation into the WO<sub>3</sub> structures [26].

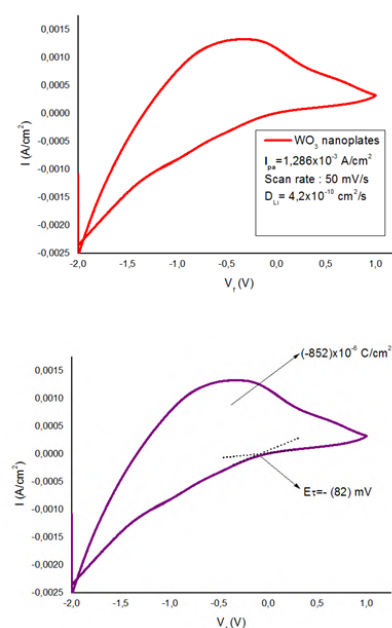
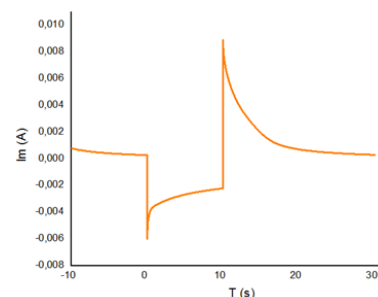


Figure 3. Cyclic voltammetry curves of the WO<sub>3</sub> nanoplates.

Figure 4 shows the CA curves recorded for the WO<sub>3</sub> nanoplates. The switching time for the WO<sub>3</sub> nanoplates between the colouration state (t<sub>c</sub>) and the bleaching state (t<sub>b</sub>) was recorded. According to the CA curve, the WO<sub>3</sub> nanoplates exhibited colouration times of 1.28 s and bleaching times of 5.50s. A good electrochromic response was observed in the WO<sub>3</sub> nanoplates, and the colouration time was faster than the bleaching time during the transition from the semi-conductor (WO<sub>3</sub>) to the conductor (Li<sub>x</sub>WO<sub>3</sub>).



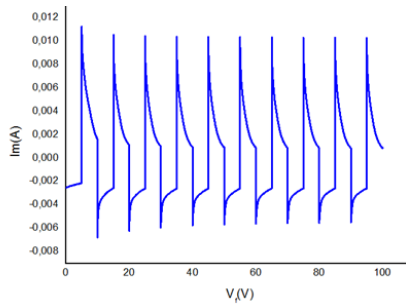


Figure 4. Chronoamperometric measurements of the  $WO_3$  nanoplates.

## 4. Conclusions and Recommendations

In this study,  $WO_3$  nanoplates were fabricated using a simple hydrothermal method at  $200^\circ C$  for 1 h. Monoclinic and hexagonal mixed phases were obtained for the  $WO_3$  crystal. High-crystalline  $WO_3$  nanoplates were grown by a novel facile hydrothermal technique, and the nanoplates showed good electrochromic performance with a fast switching time (colouration time = 1.28 s, bleaching time = 5.50 s) and a high diffusion coefficient ( $4.2 \times 10^{-10} \text{ cm}^2/\text{s}$ ).

## References

- [1] B. Miao, W. Zeng, S. Hussain, Q. Mei, S. Xu, H. Zhang, Y. Li, T. Li, (2015). Large scale hydrothermal synthesis of monodisperse hexagonal  $WO_3$  nanowire and the growth mechanism, *Mater. Lett.* <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2015.02.020>.
- [2] Z. Xie, L. Gao, B. Liang, X. Wang, G. Chen, Z. Liu, J. Chao, D. Chen, G. Shen, (2012). Fast fabrication of a  $WO_3 \cdot 2H_2O$  thin film with improved electrochromic properties, *J. Mater. Chem.* <https://doi.org/10.1039/c2jm33622g>.
- [3] Z. Jiao, J. Wang, L. Ke, X. Liu, H.V. Demir, M.F. Yang, X.W. Sun, (2012). Electrochromic properties of nanostructured tungsten trioxide (hydrate) films and their applications in a complementary electrochromic device, *Electrochim. Acta.* <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2011.12.069>.
- [4] R.R. Kharade, K.R. Patil, P.S. Patil, P.N. Bhosale, (2012). Novel microwave assisted sol-gel synthesis (MW-SGS) and electrochromic performance of petal like  $h-WO_3$  thin films, *Mater. Res. Bull.* <https://doi.org/10.1016/j.materresbull.2012.03.025>.
- [5] J. Livage, D. Ganguli, (2001). Sol-gel electrochromic coatings and devices: A review, *Sol. Energy Mater. Sol. Cells.* [https://doi.org/10.1016/S0927-0248\(00\)00369-X](https://doi.org/10.1016/S0927-0248(00)00369-X).
- [6] P.M. Kadam, N.L. Tarwal, P.S. Shinde, R.S. Patil, H.P. Deshmukh, P.S. Patil, (2009). From beads-to-wires-to-fibers of tungsten oxide: Electrochromic response, *Appl. Phys. A Mater. Sci. Process.* <https://doi.org/10.1007/s00339-009-5334-8>.
- [7] C.C. Liao, F.R. Chen, J.J. Kai, (2006).  $WO_{3-x}$  nanowires based electrochromic devices, *Sol. Energy Mater. Sol. Cells.* <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2005.07.009>.
- [8] M. Meenakshi, V. Gowthami, P. Perumal, R. Sivakumar, C. Sanjeeviraja, (2015). Influence of dopant concentration on the electrochromic properties of tungsten oxide thin films, *Electrochim. Acta.* <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2015.05.187>.
- [9] S. Lin, Y. Guo, X. Li, Y. Liu, (2015). Glycine acid-assisted green hydrothermal synthesis and controlled growth of  $WO_3$  nanowires, *Mater. Lett.* <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2015.03.099>.
- [10] S. Salmaoui, F. Sediri, N. Gharbi, C. Perruchot, M. Jouini, (2013). Hexagonal hydrated tungsten oxide nanomaterials: Hydrothermalsynthesis and electrochemical properties, *Electrochim. Acta.* <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2013.07.086>.
- [11] X.C. Song, Y.F. Zheng, E. Yang, Y. Wang, (2007). Large-scale hydrothermal synthesis of  $WO_3$  nanowires in the presence of  $K_2SO_4$ , *Mater. Lett.* <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2006.12.055>.
- [12] X. Wang, H. Zhang, L. Liu, W. Li, P. Cao, (2014). Controlled morphologies and growth direction of  $WO_3$  nanostructures hydrothermally synthesized with citric acid, *Mater. Lett.* <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2014.05.138>.
- [13] J. Huang, X. Xu, C. Gu, G. Fu, W. Wang, J. Liu, (2012). Flower-like and hollow sphere-like  $WO_3$  porous nanostructures: Selective synthesis and their photocatalysis property, *Mater. Res. Bull.* <https://doi.org/10.1016/j.materresbull.2012.08.009>.
- [14] J. Jia, X.D. Liu, X. Li, L. Cao, M. Zhang, B. Wu, X. Zhou, (2020). Effect of residual ions of hydrothermal precursors on the thickness and capacitive properties of  $WO_3$  nanoplates, *J. Alloys Compd.* <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2020.153715>.
- [15] J. Zhang, J.P. Tu, X.H. Xia, X.L. Wang, C.D. Gu, (2011). Hydrothermally synthesized  $WO_3$  nanowire arrays with highly improved electrochromic performance, *J. Mater. Chem.* <https://doi.org/10.1039/c0jm04361c>.
- [16] J. Sunpanich, T. Thongtem, S. Thongtem, (2014). Photocatalysis of  $WO_3$  nanoplates synthesized by conventional-hydrothermal and microwave-hydrothermal methods and of commercial  $WO_3$  nanorods, *J. Nanomater.* <https://doi.org/10.1155/2014/739251>.
- [17] J. Chu, J. Lan, D. Lu, J. Ma, X. Wang, B. Wu, M. Gong, R. Zhang, S. Xiong, (2016). Facile fabrication of  $WO_3$  crystalline nanoplate on FTO glass and their application in electrochromism, *Micro Nano Lett.* <https://doi.org/10.1049/mnl.2016.0199>.
- [18] J.Y. Zheng, G. Song, J. Hong, T.K. Van, A.U. Pawar, D.Y. Kim, C.W. Kim, Z. Haider, Y.S. Kang, (2014). Facile fabrication of  $WO_3$  nanoplates thin films with dominant crystal facet of (002) for water splitting, *Cryst. Growth Des.* <https://doi.org/10.1021/cg5012154>.
- [19] X. Feng, Y. Chen, Z. Qin, M. Wang, L. Guo, (2016). Facile Fabrication of Sandwich Structured  $WO_3$  Nanoplate Arrays for Efficient Photoelectrochemical Water Splitting, *ACS Appl. Mater. Interfaces.* <https://doi.org/10.1021/acsami.6b04887>.
- [20] J. Pan, R. Zheng, Y. Wang, X. Ye, Z. Wan, C. Jia, X. Weng, J. Xie, L. Deng, (2020). A high-performance electrochromic device assembled with hexagonal  $WO_3$  and NiO/PB composite nanosheet electrodes towards energy storage smart window, *Sol. Energy Mater. Sol. Cells.* <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2019.110337>.
- [21] S. Morkoç Karadeniz, B. Bozkurt Çirak, T. Kiliç, Ç. Çirak, M. İnal, Z. Turgut, A.E. Ekinci, M. Ertuğrul, (2016). A Comparative Study on Structural and Optical Properties of ZnO Micro-Nanorod Arrays Grown on Seed Layers Using Chemical Bath Deposition and Spin Coating Methods, *Materials Science (Medziagotyra)* <http://dx.doi.org/10.5755/j01.ms.22.4.13443>

- [22] B. Ingham, S.C. Hendy, S. V. Chong, J.L. Tallon, (2005). Density-functional studies of tungsten trioxide, tungsten bronzes, and related systems, *Phys. Rev. B - Condens. Matter Mater. Phys.* <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.72.075109>.
- [23] V. Lokhande, A. Lokhande, G. Namkoong, J.H. Kim, T. Ji, (2019). Charge storage in WO<sub>3</sub> polymorphs and their application as supercapacitor electrode material, *Results Phys.* <https://doi.org/10.1016/j.rinp.2019.02.012>.
- [24] S.M. Karadeniz, M.Ö. Yeşilyurt, (2020). Chemically growth of ZnO rods arrays on non-seeded glass substrates, *Surfaces and Interfaces.* 18 <https://doi.org/10.1016/j.surfin.2019.100418>
- [25] S. Mathuri, M.M. Margoni, K. Ramamurthi, R.R. Babu, V. Ganesh, (2018). Hydrothermal assisted growth of vertically aligned platelet like structures of WO<sub>3</sub> films on transparent conducting FTO substrate for electrochromic performance, *Appl. Surf. Sci.* <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2018.01.033>.
- [26] J. Velevska, N. Stojanov, M. Pecovska-Gjorgjevich, M. Najdoski, (2017). Electrochromism in tungsten oxide thin films prepared by chemical bath deposition, *J. Electrochem. Sci. Eng.* <https://doi.org/10.5599/jese.357>.
- [27] R.R. Kharade, S.R. Mane, R.M. Mane, P.S. Patil, P.N. Bhosale, (2010). Synthesis and characterization of chemically grown electrochromic tungsten oxide, *J. Sol-Gel Sci. Technol.* <https://doi.org/10.1007/s10971-010-2291>



# Kontaktörlerde Anahtarlama Sayısının Elektrik Ark Erozyonuna ve Kontaktör Yüzey Hasarlarına Etkileri

Mustafa Nuri Sav<sup>1</sup>, Sinan Fidan<sup>2\*</sup>, Satılmış Ürgün<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Havacılık Bilimi ve Teknolojileri Bölümü, Kocaeli, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-4495-5883),  
[mustafanurisav@gmail.com](mailto:mustafanurisav@gmail.com)

<sup>2\*</sup> Kocaeli Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Uçak Gövde Motor Bakımı Bölümü, Kocaeli, Türkiye (ORCID: 0000-0003-4385-4981),  
[sfidan@kocaeli.edu.tr](mailto:sfidan@kocaeli.edu.tr)

<sup>3</sup> Kocaeli Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Havacılık Elektrik ve Elektronik Bölümü, Kocaeli, Türkiye (ORCID: 0000-0003-3889-6909),  
[urgun@kocaeli.edu.tr](mailto:urgun@kocaeli.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 01 Haziran 2021 ve Kabul Tarihi 10 Kasım 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.946690)

**ATIF/REFERENCE:** Sav, M.N., Fidan, S. & Ürgün, S. (2021). Kontaktörlerde Anahtarlama Sayısının Elektrik Ark Erozyonuna ve Kontaktör Yüzey Hasarlarına Etkileri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (27), 723-734.

## Öz

Elektrik ark erozyonu, elektriksel devrelerin anahtarlama görevi yapan elemanlarında ortaya çıkabilen önemli hasar türlerinden bir tanesidir. Hassas elektrik devrelerinin kararlı bir çalışma gerçekleştirebilmesi için, ark erozyonuna bağlı yüzey hasarlarının mümkün olduğunca az olması istenir. Ark erozyonu, kontaktör servis ömrünü kısaltıcı etkilere yol açar. Kontaktör ömrünü uzatabilmek için yapılan çalışmalar ark erozyonu miktarını azaltmak veya ark şiddetini düşürmek üzerine yoğunlaşmıştır. Ark erozyonunun gerçekleşme karakteristiği, farklı disiplinlerin çalışma alanı olan birbirinden bağımsız birçok etken tarafından belirlenmektedir. Bu çalışmada mekanik, metalurjik ve elektrik olmak üzere farklı disiplinlerden hibrit bir araştırma yöntemiyle, Ag-Ni kontaktörlerin 12VDC 5A yük altında rezistif bir devrede farklı çevrimler sayılarında gözlemlenen deformasyonları incelenmiştir. Deneysel verilerden elde edilen sonuçlar literatürdeki çalışmalarla karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiş; mekanik, metalurjik ve elektriksel parametrelerin elektrik ark erozyonuyla beraber kontaktör yüzeylerinde ortaya çıkardığı pürüzlülük mekanizmaları ortaya konulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Ark erozyonu, Anahtarlama sayısı, Yüzey pürüzlülüğü.

## The Effects of the Number of Switching in Contactors on Electric Arc Erosion and Contactor Surface Damages

### Abstract

Electric arc erosion is one of the important types of damage that can occur in the switching elements of electrical circuits. In order for sensitive electrical circuits to perform stable operation, surface damage due to arc erosion is desired to be as little as possible. Arc erosion leads to effects that shorten the contactor service life. Studies conducted to extend the lifetime of the contactor have focused on reducing the amount of arc erosion or decreasing the arc intensity. The occurrence characteristic of arc erosion is determined by many independent factors that are the field of study of different disciplines. In this study, the deformations of Ag-Ni contactors in a resistive circuit under 12VDC 5A load at different number of cycles were investigated using a hybrid research method from different disciplines including mechanical, metallurgical and electrical. The results obtained from the experimental data were evaluated in comparison with the studies in the literature; Roughness mechanisms caused by mechanical, metallurgical, and electrical parameters along with electric arc erosion on contactor surfaces have been revealed.

**Keywords:** Arc erosion, Number of switching, Surface roughness.

\* Sorumlu Yazar: [sfidan@kocaeli.edu.tr](mailto:sfidan@kocaeli.edu.tr)



## 1. Giriş

Kontaktörler elektrik devrelerinde anahtarlama görevi üstlenen elemanlarda iletimin sağlanması veya kesilmesi için birbiri ile temas eden veya ayrılan parçalardır. Birçok uygulamada elektrik devrelerinin ömrü, hassaslığı ve kararlılığı kritik öneme sahiptir. Uygulamalardaki ömür, hassaslık ve kararlılığın belirlenmesinde önemli parametrelerden biri de kontakların işlevlerini ne kadar süre boyunca düzgün bir şekilde yerine getirebilecekleridir (Swingler & McBride John W., 2008), (Jemaa et al., 1998). Yapılan çalışmalar ortaya koymuştur ki kontaktörler kullanım ömürleri sırasında çeşitli deformasyon mekanizmalarından etkilenmektedir. Elektrik ark erozyonu bu deformasyon mekanizmaları arasında belirgin bir şekilde öne çıkan ve incelenmeye değer hasarlar bırakan bir hasar mekanizmasıdır.

Elektrik arkı, kontak yüzeyi arasındaki ortamın iletkenlik direncinin aşılması sonucu meydana gelen bir elektrik sıçramasıdır. Ark kontaktörler arasında açılış veya kapanış sırasında voltaj ve amper değerlerinin belirli bir minimum seviyesinde olduğunda meydana gelir (Xue Zhou et al., 2015). Elektrik arkı, plazma fazında meydana gelmektedir ve ark oluşumu sırasında ortamdaki gaz atomları pozitif yüklenerek katot yüzeyini bombardımana tutar. Bu yüklü gaz atomu bombardımanında katot yüzeyinden metal atomları kopmaya başlar ve anot yüzeyine doğru göç eder. Bir diğer mekanizma ise kontaktör yüzeylerinde meydana gelen ısınma sonucu yüzeylerde ergimelerin oluşması temeline dayanır (Hwang et al., 2020). Makro ölçekte temas yüzeyi büyük görünse de dinamik temas noktaları malzemelerin yüzey pürüzlülüğünden dolayı çok daha düşüktür ve bu düşük temas yüzeyinden geçmeye çalışan elektrik akımı malzemenin direncinden kaynaklı lokal ısınmalara sebep olmaktadır. Bu ısınmalar yüzeylerde sıvı metal havuzları oluşumuna sebep olabilir ve kontakların temastan sonra ayrılma sürecinde bu sıvı metal havuzları yüzey geriliminden kaynaklı iki kontak arasında sıvı metal köprüleri oluşturur. Bu köprülerin oluşumu sırasında ark oluşumu ile sıvı metal köprüleri patlar ve metal atomları pozitif yüklerle yüklenerek katot yüzeyine çöker. Temel olarak elektrik ark erozyonunun gerçekleşmesinde evaporasyon ve sputtering mekanizmalarının etken olduğu bilirse de yapılan araştırmalar bu iki mekanizmanın dışında yüzeyde kaynaklanma, sıvı metal transferi ve kopma gibi olayların gerçekleşebileceğini ortaya koymuştur (Abbaoui et al., 2006), (Lin et al., 2019; Wu et al., 2015), (Mützel & Niederreuther, 2012).

Bu mekanizmalardan hangisinin gerçekleşeceğine ve erozyon olayının ne şiddette gerçekleşeceğine birçok faktör etki etmektedir. Bu etkenleri 3 temel başlıkta ele alabiliriz:

### Elektriksel Parametreler

- Elektrik akımının türü (AC-DC)
- Yüklenme şekli (rezistif, kapasitif, indüktif)
- Akım ve gerilim şiddeti ve frekansı

### Mekanik Faktörler

- Kontak geometrisi ve tasarımı
- Kinematik
- Anahtarlama düzenekleri

### Malzeme Özellikleri

- Elektriksel ve ısı iletkenlik
- Korozyon direnci
- Sertlik
- Ergime sıcaklığı (Bıyık, 2015), (Hwang et al., 2020; Kharin et al., 2015), (Zhu et al., 2017)

Elektrik kontakları olarak kullanılan malzemeler genellikle gümüş veya bakır esaslı olup farklı özelliklerin geliştirildiği kompozitler olarak üretilmektedir. Yaygın kullanım şekilleri metal-metal takviyeli veya metal-metal oksit takviyeli yapılarıdır. Kullanılan esas bileşen iletkenlik özelliğinin ön plana çıktığı metal veya alaşımlar olarak seçilmektedir, genellikle Ag veya Cu tercih edilmekle beraber bazı çalışmalarda farklı metal alaşımları da kullanılmıştır. Metal matris takviye fazı olarak kullanılacak ikinci bileşen ise oluşacak deformasyonlara karşı direnç oluşturması için tercih edilen W, Ni ve Ti gibi yüksek ergime sıcaklıklarına sahip veya yüksek sertliğe sahip metaller veya metal oksit, karbür, borür, nitrür gibi yüksek sertlikteki takviye elemanlarıdır (Hu et al., 2016), (Cui et al., 2016).

Yapılan çalışmaların sonucuna göre ark erozyonunun farklı frekans değerlerinde farklı miktarlarda taşınım gösterdiği, düşük akım şiddetlerinde evaporasyon; yüksek akım şiddetlerinde sputter erozyonunun temel erozyon mekanizması olduğu, kontakları tutan kirşlerinin young modüllerinden kaynaklı açılış ve kapanış sırasındaki kinematığın değiştiği ve bunun sonucunda farklı erozyon özellikleri gözlemlendiği ortaya çıkmıştır (Hwang et al., 2020; Xue Zhou et al., 2015). Deneysel çalışmaların yanı sıra simülasyon çalışmalarında ise elektrik ark enerjisinin malzeme taşınımı üzerine olan etkisi ortaya konulmuştur. Bu etki ark enerjisinin kontak yüzey sıcaklığını arttırdığını ve çok kısa bir sürede metalin kaynama sıcaklığını aştığını göstermektedir. Bu sırada ısınma ergime, kaynama, buharlaşma, sıçrama olaylarını katılma süreci takip etmektedir. Bu olaylar sırasında anot ve katot yüzeyleri farklı sıcaklık seviyelerine çıktığından dolayı farklı zamanlarda ergime ve katılma olayı gözlemlenmektedir. Bu farkın sonucunda anot ve katot yüzeylerinde farklı oranlarda farklı tiplerde erozyon oluşmaktadır (Cui et al., 2016; Rong et al., 2009; Tian et al., 2016; Xue Zhou et al., 2015).

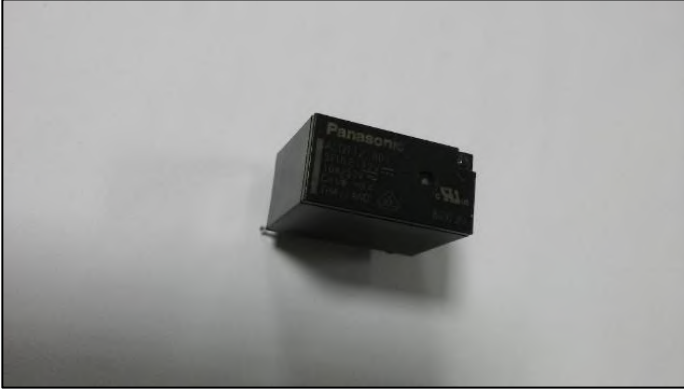
Bu kadar geniş bir alan yelpazesine sahip olan elektrik ark erozyonuna dair Türkçe literatürde çok az sayıda kaynak bulunmaktadır. Yabancı kaynaklarda ise yapılan çalışmalar genellikle kütle taşınımı veya ark enerjisi üzerine yoğunlaşmıştır. Bu çalışmada 12V DC 5A değerlerinde Ag-Ni esaslı kontaktörlerde elektrik ark erozyonu davranışı incelenmiştir. Bu inceleme sırasında anahtarlama işleminde kapanış ve açılış süreleri, ark sırasında ark enerjileri ve ark süreleri hesaplanarak mukayese edilmiş ve numunelerde oluşan deformasyonlar birbirleri ile kıyaslanmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Numunelerin Özellikleri

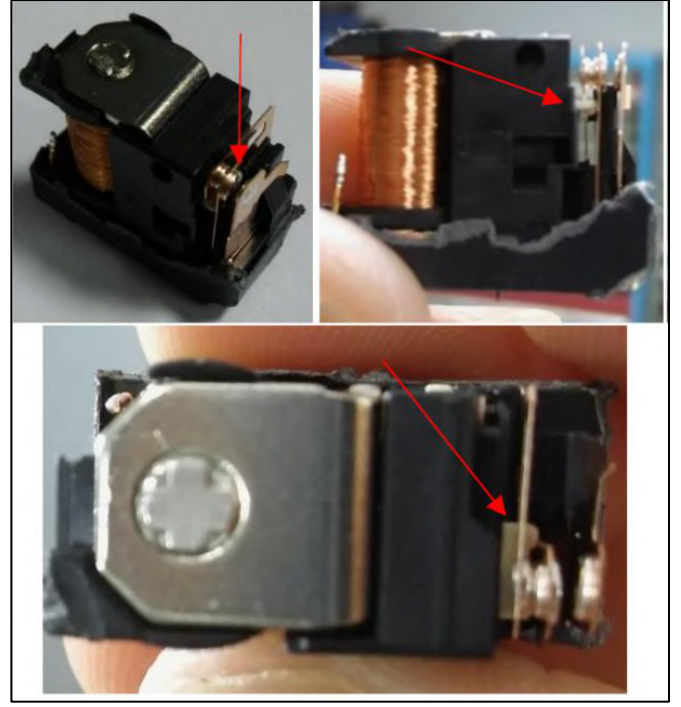
Bu çalışmada Panasonic marka ALQ112 model röleler kullanılmıştır. Kullanılan rölelerin bilgileri firma ilgili veri sayfasında mevcuttur. Bu rölelerde AgNi kontaklar

kullanılmaktadır. AgNi kontaklar yüksek iletkenlik özelliğine sahip düşük akım seviyelerinde kullanılmak için ideal kontaklardır (Jemaa et al., 1998). Şekil 1'de kullanılan rölenin bir görüntüsüne yer verilmiştir.



Şekil 1. Panasonic ALQ112 rölesinin dış görünüşü.

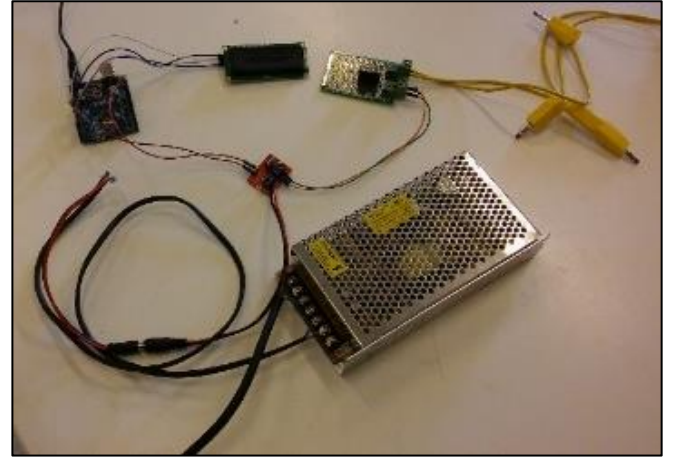
Bu rölelerin içerisinde ikisi sabit biri hareketli olmak üzere toplamda üç kontaktör bulunmaktadır. Bu kontaktörlerden hareketli olanın normal konumu Şekil 2'de görüldüğü üzere bir sabit kontaktörle sürekli kapalı kalacak şekilde ve diğer sabit kontaktörle ayrı duracak şekildedir. Bobinde oluşan manyetik kuvvet ile röle içerisinde harekete geçen bir metal parçaya bağlı olan kırmızı oklarla gösterilmiş polimer parça ileri doğru hareket ederek hareketli kontaktörü sabit kontaktörlerden kapalı olandan ayırarak açık olana temas ettirir. Bu çalışmada normal konumunda açık halde duran kontaktör kullanılmıştır. Normali kapalı olan sabit kontaktörün üzerinden herhangi bir akım geçirilmemiştir. Rölelerin içerisinde yaklaşık 0.5 mm çapında Ag-Ni kontaktörler kullanılmaktadır. Kullanılan bu kontaktörler sırası ile çevrim sayıları ve konumlarına göre 5S: 5000 çevrim sabit kontak, 5H: 5000 çevrim hareketli kontak, 10S: 10000 çevrim sabit kontak, 10H: 10000 çevrim hareketli kontak, 20S: 20000 çevrim sabit kontak, 20H: 20000 çevrim hareketli kontak olacak şekilde isimlendirilmiştir.



Şekil 2. Rölenin iç yapısının farklı yönlerden fotoğrafları.

## 2.2. Ark Erozyon Deneyi

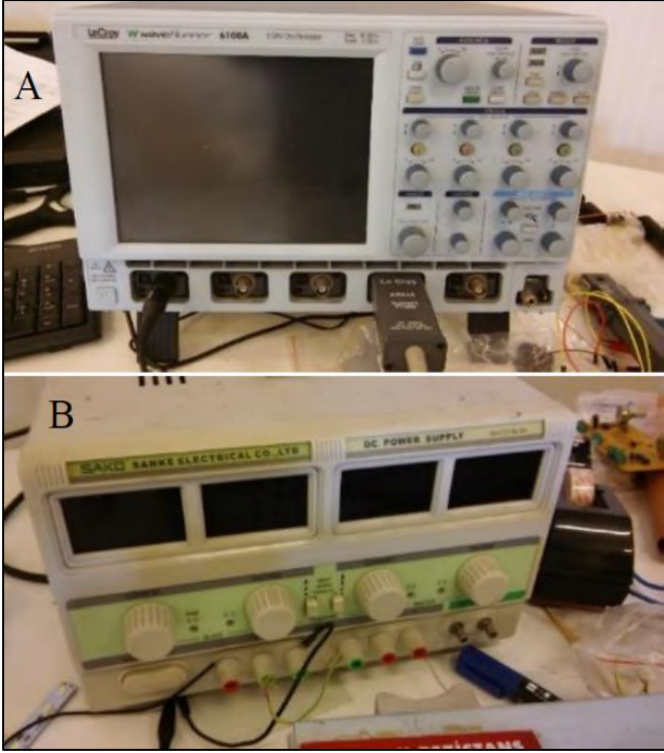
Ark erozyon deneyi için her bir çevrim 2,5 saniyede tamamlanıp bu sürenin içerisinde 100ms boyunca devreden 12V 5A DC akım geçirilmiştir. Bu çevrimlerin oluşturulması için kullanılan devre elemanları Şekil 3'te verilmiştir. Deney düzeneği rezistif yük olacak şekilde hazırlanmıştır. Giriş kısmında belirtildiği üzere devrenin rezistif, indüktif veya kapasitif olması ark sürecinde farklılıklara yol açmaktadır.



Şekil 3. Anahtarlama düzeneğinde kullanılan ekipmanlar.

Şekil 4'te gösterilen Lecroy Waverunner 6100A osiloskop kullanılarak deney sırasında elektriksel veriler anlık olarak gözlemlenerek kaydedilmiştir. Bu osiloskop ile anahtarlama sırasında akım ve gerilim değerlerindeki değişimi ve anahtarlama sırasındaki akım ve gerilimin yükseliş (rise time) ve düşüş (fall time) ve güç grafiklerindeki piklerin süreleri ölçülerek ark enerjileri hesaplanmıştır. Ark olayı bu açma kapama sırasında meydana gelmektedir ve yapılan çalışmalar ark süre ve enerjilerinin elektrik ark erozyonu ile taşınan malzeme arasında bir ilişki olduğunu ortaya koymuştur (Hu et al., 2016).

Ark oluşumu için gerekli DC güç kaynağı Şekil 4'te gösterilen SAKO SK1731SL5A ve LeCroy WaveRunner 6000A osiloskop cihazı kullanılmıştır.

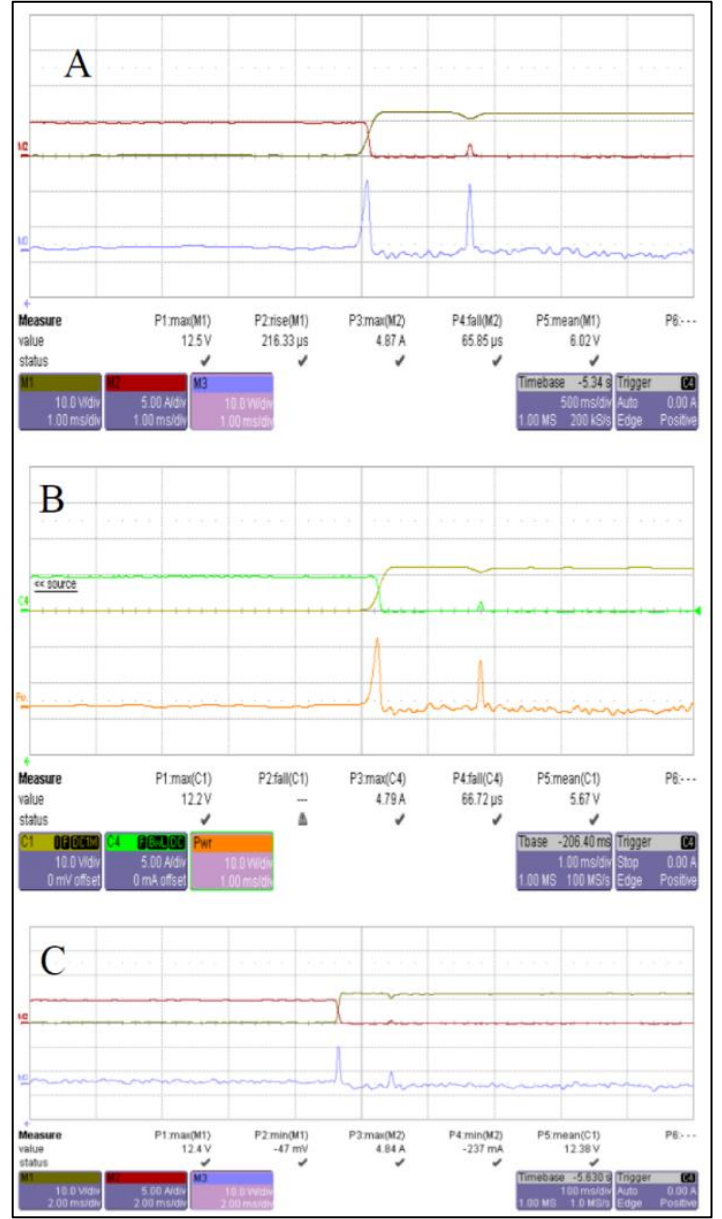


Şekil 4. Deney sırasında kullanılan a) Osiloskop b) DC güç kaynağı.

Kullanılan osiloskop ile anahtarlama sırasında akım ve gerilim değerlerindeki değişimi; anahtarlama sırasındaki akım ile gerilimin yükseliş (rise time) ve düşüş (fall time) süreleri ölçülmüştür. Elde edilen veriler Curve Fitting kullanılarak grafik haline getirilmiştir. Daha önce belirtildiği üzere ark olayı bu açma kapama sırasında meydana gelmektedir ve bu süreler bize erozyonun gerçekleştiği süre hakkında fikir vermektedir. Bu olayın gerçekleşmesi sırasında kontaklar birbirinden ayrılır ve potansiyel fark yükselir. Potansiyel farkın yükselmesi sırasında ark olayının gerçekleşmesi kaçınılmazdır. Ark olayı potansiyel fark ve akım grafiklerinden gözlemlenebileceği gibi güç grafiğindeki piklerle de tespit edilebilmektedir. Bu noktada ark enerjisinin hesaplanmasında akım, gerilim ve ark süresi değerlerinin kullanıldığı çeşitli formüller kullanılmaktadır (Jemaa et al., 1998) (Hu et al., 2016), (Liyang et al., 2013), (Jing et al., 2011). Bu çalışmada akım ve gerilimin bir fonksiyonu olarak güç piklerinin alanı üzerinden ark enerjisi hesaplanmıştır.

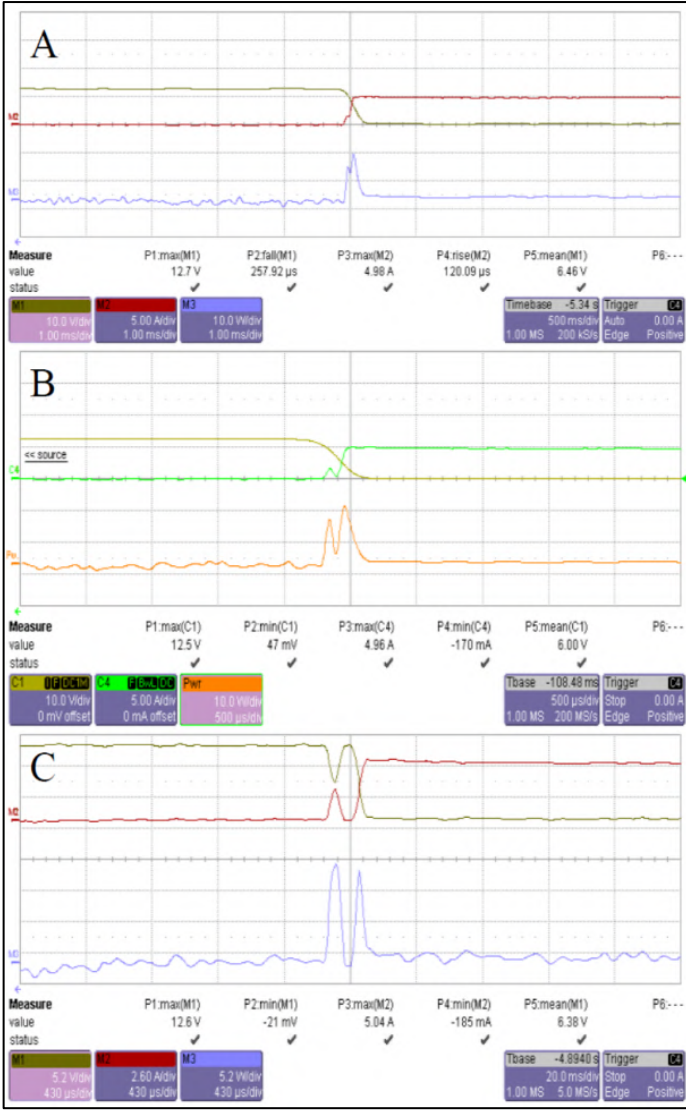
Şekil 5'te verilen grafiklerde kesim işleminden sonra ortaya çıkan piklerin kesimden sonra kontaklar arasında mikro-ark oluşumları gözlemlenmiştir. Bu olay düşük anahtarlama çevrimlerinden yüksek anahtarlama çevrimlerine kadar düzensiz aralıklarla olmaya devam etmiştir. Bu olayın gerçekleşmesine dair birçok sebep sunulabilir. Sebepler arasında; anahtarlama için kullanılan bobinde biriken indüktif yükün kesim sonrasında anlık manyetik anahtarlama düzeneğini harekete geçirmesi ve kontakların küçük bir hareket göstererek aradaki mesafenin değişmesiyle ortamın iletkenlik direncinin aşılması ile ark oluşumuna sebep olması veya anahtarlama süresince kontak yüzeylerinden buharlaşan metal atomları ile ortam atmosferinin karışımının iletkenlik değerinin ark oluşumuna sebep olması sayılabilir (Rong et al., 2009). Oluşan arkın indüktif olduğu çıkarımı kontaklar arasındaki mesafeden dolayı kesin olarak

yapılabilir. Yapılan araştırmalara göre rezistif yükün ark mesafesinin 100 µm uzunluğuna kadar gerçekleştiğini ve daha uzun boyda arkların indüktif yüklerle gerçekleştiğini ortaya koymuştur (Jemaa et al., 1998).



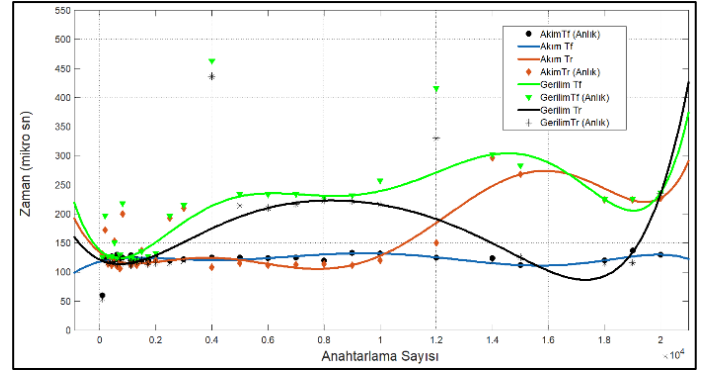
Şekil 5. A) 10000 B) 12000 C) 15000 çevrim sonrasında kesim esnasında akım gerilim ve güç grafikleri.

Şekil 6'da kontaktörlerin kapanması esnasında akım, gerilim ve güç grafiklerindeki dalgalanmanın başlangıcı ve anahtarlama sayılarının artışı ile bu dalgalanmanın daha belirgin hale gelerek çift pik oluşturması görülmektedir. Oluşum düşük çevrimlerde görülmemektedir. Çevrim sayısı arttıkça belirgin hale gelmekte ve 10 bin anahtarlama ile gözlemlenmeye başlanmaktadır.



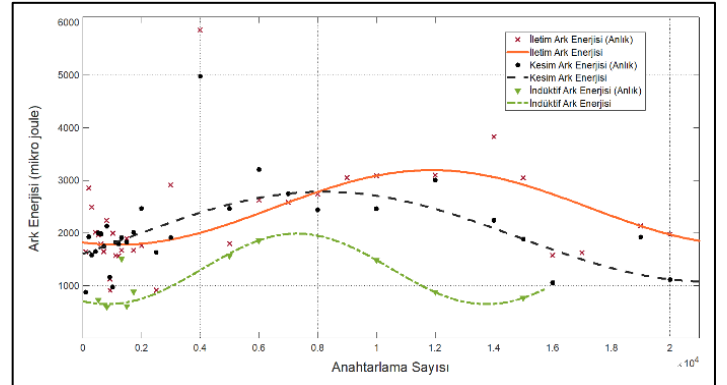
Şekil 6. A)10000 B)12000 C)20000 çevrim sonrasında iletme geçerken akım gerilim ve güç grafikleri.

Şekil 7’de verilen grafikte gerilim ve akımın yükseliş ve düşüş sürelerindeki artış verilmiştir. Bu artışı referans olarak anahtarlama sayısı arttıkça akım daha uzun sürelerde artmakta ve gerilim de tutarlı bir şekilde daha uzun sürede düşmektedir. Görüldüğü üzere anahtarın açık pozisyonundan kapalı pozisyona geçmesinde belirgin bir gecikme söz konusu olmaktadır. Akımın düşüş süresi (Akım Tf) ise dikkate değer bir artış göstermemekle beraber eş zamanlı olarak gerçekleşen gerilimin artış süresi (Gerilim Tr) bir miktar artış göstermiştir. Akımın yükseliş süresi (Akım Tr) ve gerilimin düşüş süresi (Gerilim Tf) de belirgin bir artış gözlemlenmektedir. Bu veriler bize çevrim sayısı arttıkça anahtarın kapanma olayı sırasında oluşan arkın süresinin arttığını vermektedir. Fakat bu verilere Şekil 5’te verilen indüktif arklar dahil değildir. Bu sebeple Akım Tr-Tf ve Gerilim Tr-Tf sürelerinin tek başına referans alınması yanıltıcı sonuçlar verebilir.



Şekil 7. Akım ve gerilim artış ve düşüş zamanlarının operasyon sayısına bağlı değişimi.

Şekil 9’da osiloskoptan elde edilen güç grafiklerinden kesim ve iletim esnasında oluşan ark enerjileri hesaplanmıştır. Bu veriler kullanılarak aşağıdaki grafik oluşturulmuştur. Buna göre anahtarlama sayısı arttıkça ark enerjileri ve süreleri artış göstermektedir. Bu ark enerjileri 10000 çevrime kadar artmakta ve sonrasında tekrar düşmektedir. İletim ve kesim sırasında olan arklardan bağımsız olarak kesim olayından 1.5 ms sonrasında gerçekleşen indüktif ark düzensiz aralıklarla gerçekleşmiş olup enerji artış grafiği iletim ve kesim sırasında gerçekleşen arklarla uyumludur. Bu ark olayında gerçekleşen erozyon katottan anoda taşınım şeklinde olmaktadır ve üç temel bileşenden meydana gelir: iyonlar, nötral buhar ve makro partiküller. İyon bombardımanı ile yüzeyden metal koparılması etkindir (Murzakaev, 2016; X. Zhou et al., 1994).



Şekil 8. Ark enerjilerinin çevrim sayısına göre değişimi.

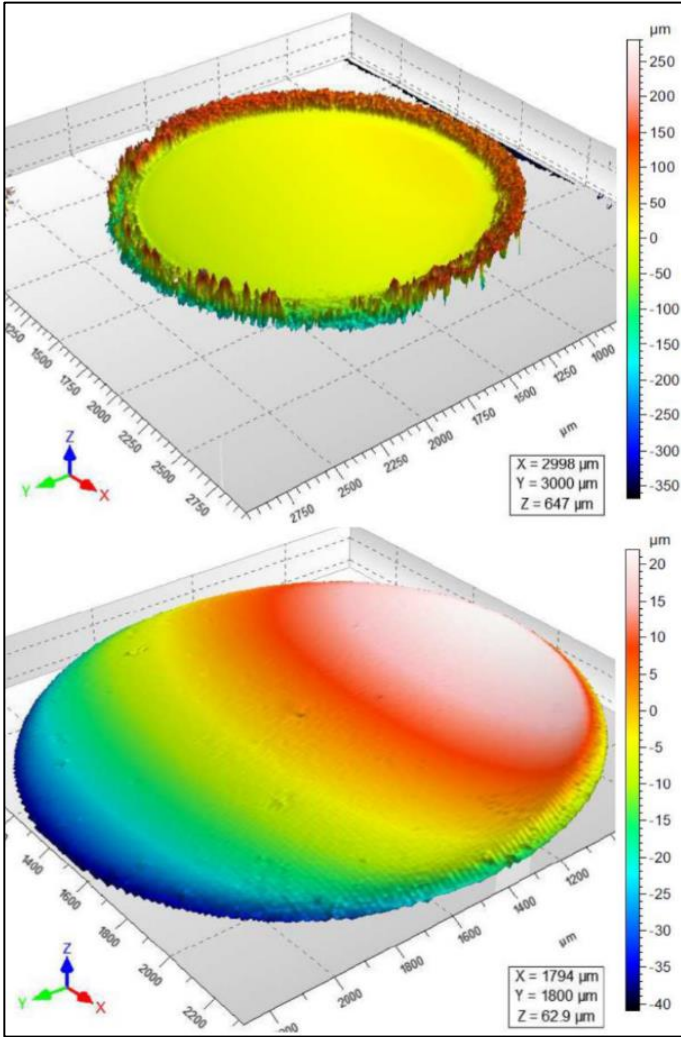
### 2.3. Yüzey Topografisi ve Hasar Analizi

Elektrik ark erozyonu sonrasında yüzeyde gerçekleşen erozyon temassız lazer optik profilometre (Nanovee PS50, USA) yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Ark erozyonu testi sonrasında erozyonun gerçekleştiği bölgeler, malzeme birikiminin gerçekleştiği bölgeler ve taşınan hacim bilgileri elde edilmiştir. Topografi ve hasar analizinde özel bir yazılım olan Mountains® (surface imaging & metrology software,FR) kullanılmıştır. Numunelerin kavislerinden kaynaklı lazer ışını reseptöre dönmeyecek şekilde yansımalar oluşturmaktadır. Bu yansımalar sonucunda elde edilen görüntüde numunelerin kenarlarında ölçümlenememiş noktalar oluşmakta ve program bu bölgeleri bize boşluk olarak göstermektedir. Deformasyon bölgesinden uzakta olması ve herhangi bir etkiye sahip olmamasından kaynaklı olarak anlamlı analizi kolaylaştırmak adına numune kenarlarında bozuk ölçümleri dışarda bırakacak şekilde bir alan çıkarımı yapılmıştır. Numunenin ölçüm tablasına yerleştirilmesinden kaynaklı sahip olduğu eğim ise

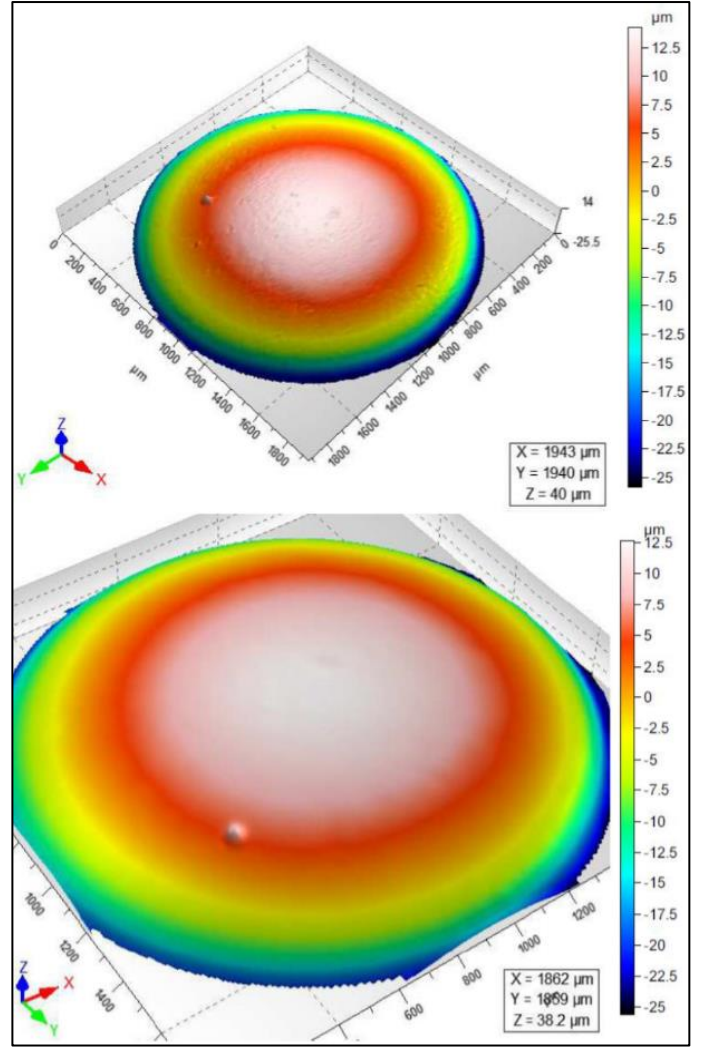
kademelendirme (leveling) komutu ile giderilmiştir. Yapılan analizlerde deformasyon bölgeleri tespit edilmesinin ardından daha belirgin bir ölçüm adına pik ve çukur ölçümleri yapılmadan önce sabit kontakların görüntüsüne “dilation” filtresi hareketleri kontakların görüntüsüne “erosion” filtresi uygulanmıştır. Bu filtreler Mountain Labs programının sahip olduğu filtreleme seçenekleri oluşturulan sanal görüntü üzerinde daha doğru gözlemler ve analizler yapılması için hazırlanmış modüllerdir.

### 2.1.1. 0S ve 0H numunelerinin incelenmesi

Şekil 9 ve 10’da erozyon deneyine sokulmamış numunelerin yüzeyleri görülmektedir. Beklenildiği üzere herhangi bir deformasyon barındırmamaktadır. Üretimden kaynaklanan önemsenmeyecek küçük hatalar dışında pürüzlülük oranı son derece düşük yüzeyler gözlemlenmiştir.



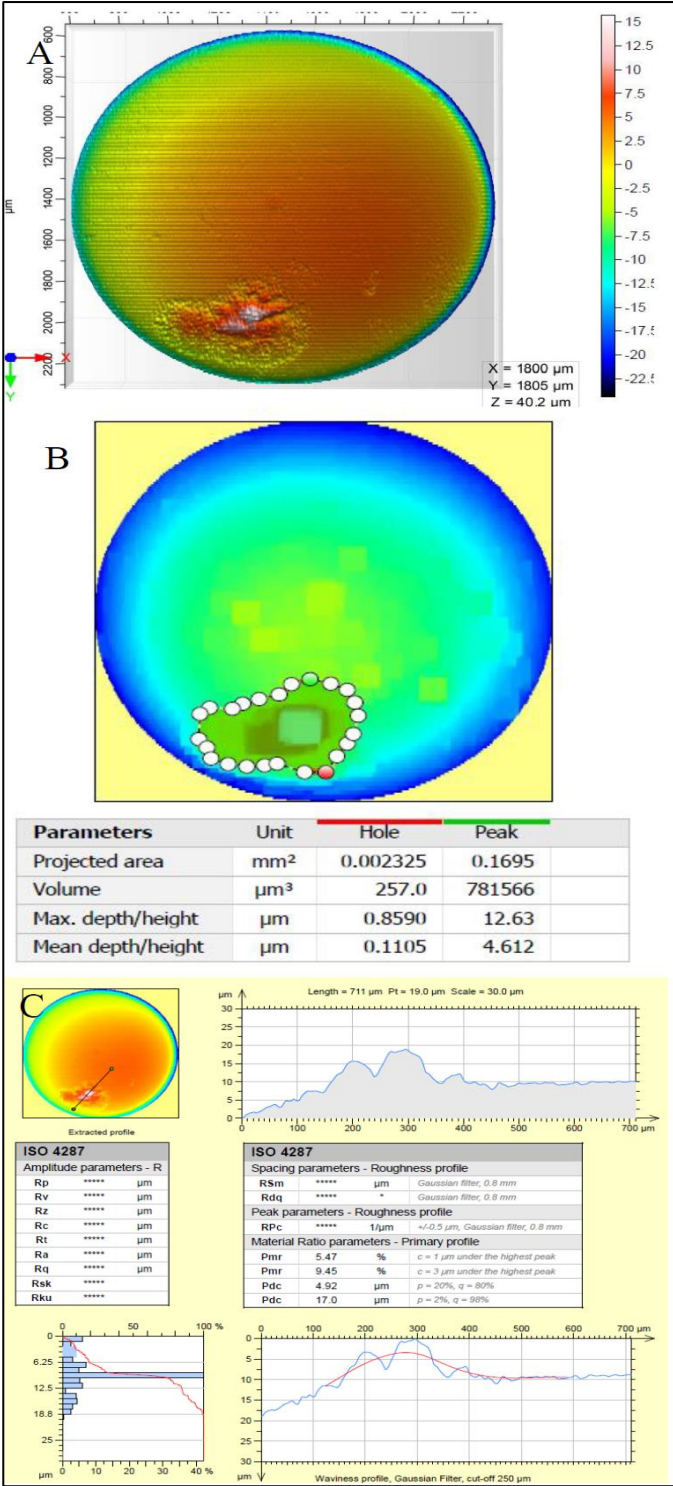
Şekil 9. 0S’e ait profilometre görüntüsü.



Şekil 10. 0H’a ait profilometre görüntüsü.

### 2.1.2. 5S Numunesinin incelenmesi

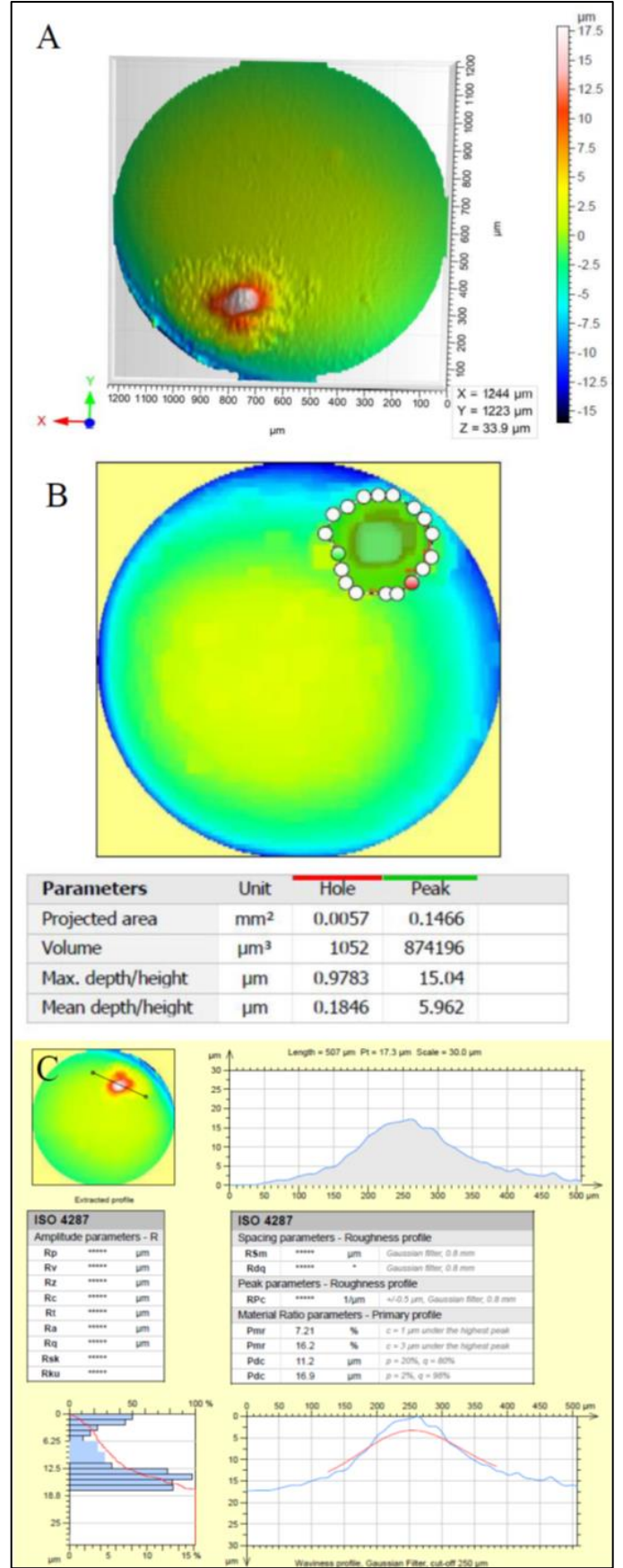
Şekilde görüldüğü üzere katotta yaklaşık  $0.1713 \text{ mm}^2$ ’lik bir alanda erozyon birikmesi gerçekleşmiştir. Bu birikmenin Şekil 11-B de hesaplanan hacmi  $781566 \text{ µm}^3$  ve maksimum yükseklik  $12.63 \text{ µm}$  olarak ölçülmüştür. Oluşan birikme homojen bir birikme şeklinde gerçekleşmemiş olup bir tepe şeklinde yoğunlaşmıştır. Birikmenin çevresinde düşük miktarda erozyon da gözlemlenmiştir.



Şekil 11. 5S'e ait yüzey analizleri. A) Genel görünüm. B) pik ve çukur ölçümü. C) çizgi grafik yükseklik ölçümü.

### 2.1.3. 10S Numunesinin incelenmesi

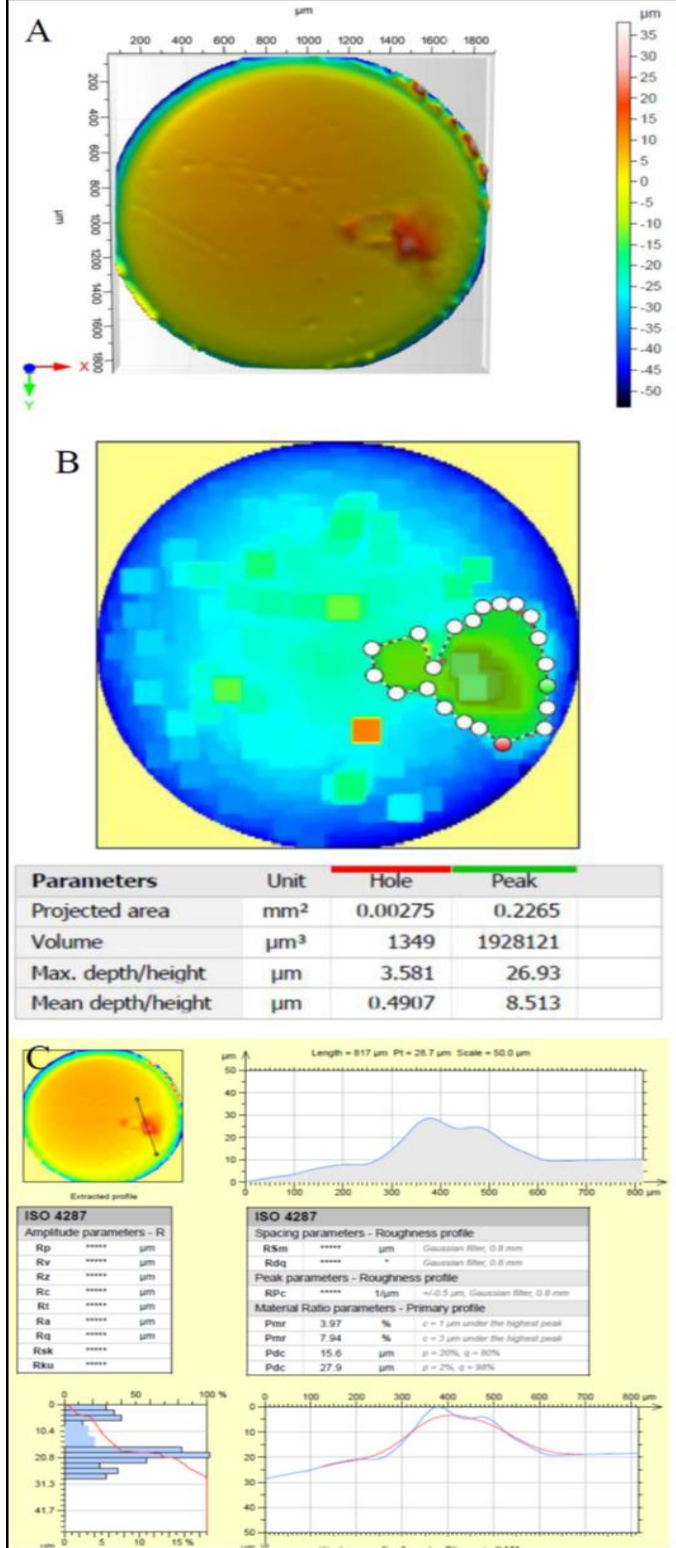
Yapılan ölçümler sonucunda 10000 çevrim sonucunda 0.1523 mm<sup>2</sup>lik bir alanda deformasyon gözlemlenmektedir. 874196 µm<sup>3</sup> hacminde malzeme birikmesi söz konusudur. Ölçülen maksimum yükseklik değeri 15.04 µm yüksekliğindedir.



Şekil 12. 10S'e ait yüzey analizleri. A) Genel görünüm. B) pik ve çukur ölçümü. C) çizgi grafik yükseklik ölçümü.

### 2.1.4. 20S Numunesinin incelenmesi

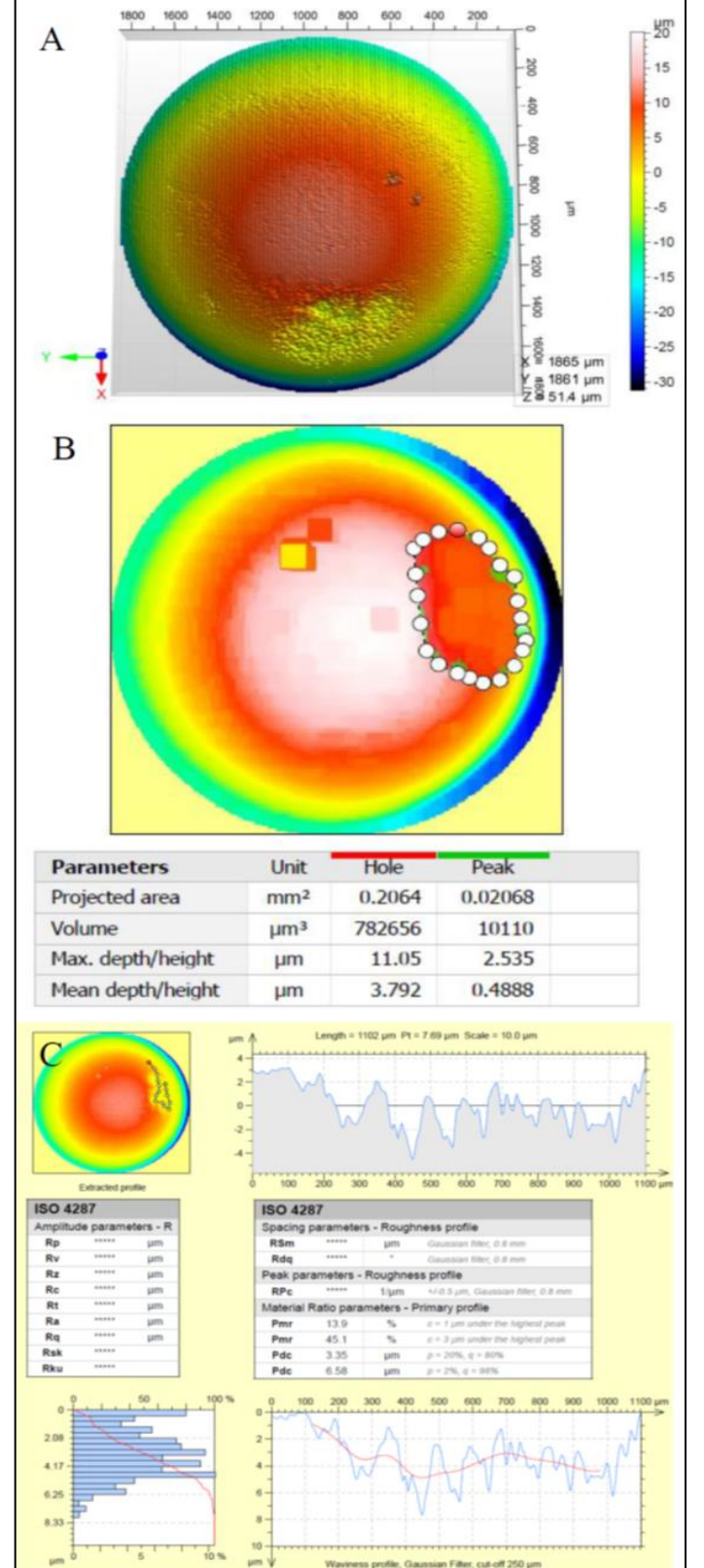
20000 anahtarlamının sonunda birikme  $0.2292 \text{ mm}^2$  alana yayılarak çok daha geniş bir alanda erozyon gözlemlenmektedir. Özgün şekilde birbirinden tam olarak ayrı iki tepeleşme gözlemlenmektedir. Gözlemlenen maksimum yükseklik  $26.93 \mu\text{m}$  ve toplam biriken hacim  $1928121 \mu\text{m}^3$  biriken malzemelerin oluşturduğu yüzey alanı ise ile beklenildiği gibi diğer numunelerden daha fazladır.



Şekil 13. 20S'e ait yüzey analizleri. A) Genel görünüm. B) pik ve çukur ölçümü. C) çizgi grafik yükseklik ölçümü.

### 2.1.5. 5H Numunesinin incelenmesi

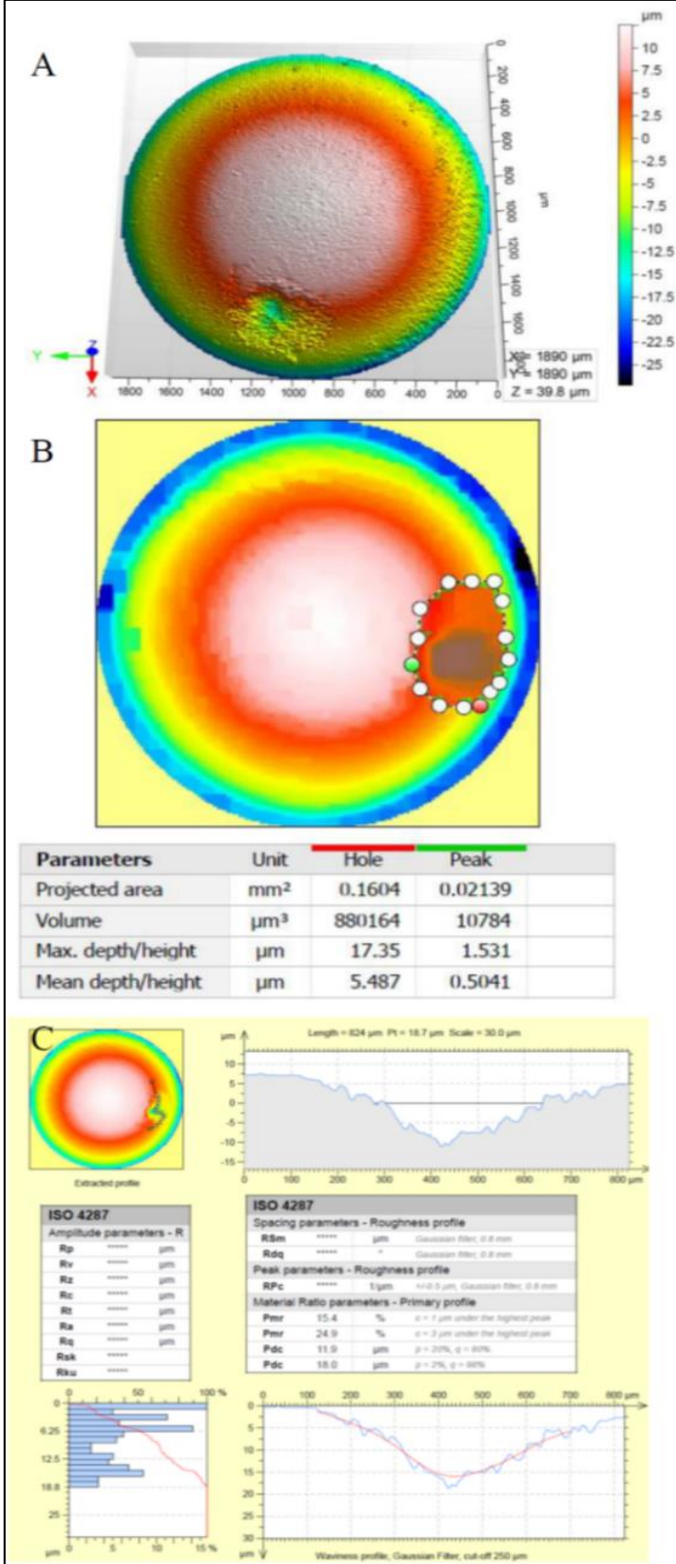
Şekilde görüldüğü üzere 5000 anahtarlama sonrasında 5H yüzeyinde yaklaşık  $0.2271 \text{ mm}^2$  lik bir alanda deformasyon gerçekleşmiştir. Bu deformasyonun sırasında malzeme kaybının hacmi yaklaşık  $782656 \mu\text{m}^3$  ve maksimum derinlik  $11.05 \mu\text{m}$  olarak ölçümlenmiştir.



Şekil 14. 5H'a ait yüzey analizleri. A) Genel görünüm. B) pik ve çukur ölçümü. C) çizgi grafik yükseklik ölçümü.

### 2.1.6. 10H Numunesinin incelenmesi

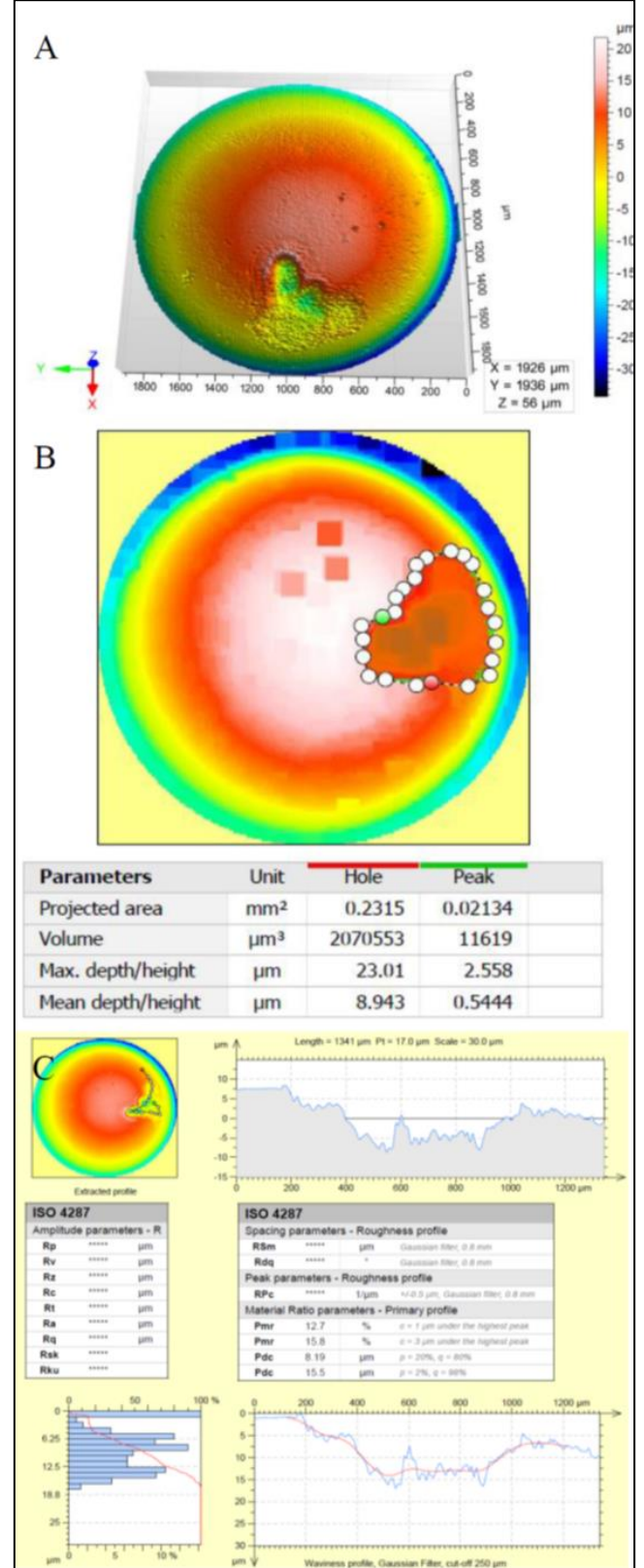
Şekilde görüldüğü üzere 10000 anahtarlama sonrasında 10H yüzeyinde yaklaşık  $0,1818 \mu\text{m}^2$  lik bir alanda deformasyon gerçekleşmiştir. Bu deformasyonun sırasında malzeme kaybının hacmi yaklaşık  $880164 \mu\text{m}^3$  ve maksimum derinlik  $17,35 \mu\text{m}$  olarak ölçümlenmiştir.



Şekil 15. 10H' a ait yüzey analizleri. A) Genel görünüm. B) pik ve çukur ölçümü. C) çizgi grafik yükseklik ölçümü.

### 2.1.7. 20H Numunesinin incelenmesi

Şekilde görüldüğü üzere 20000 anahtarlama sonrasında 20H yüzeyinde yaklaşık  $0,2528 \text{ mm}^2$  lik bir alanda deformasyon gerçekleşmiştir. Bu deformasyonun sırasında malzeme kaybının hacmi yaklaşık  $1167886 \mu\text{m}^3$  ve maksimum derinlik  $21,5 \mu\text{m}$  olarak ölçümlenmiştir.



Şekil 16. 20H'a ait yüzey analizleri. A) Genel görünüm. B) pik ve çukur ölçümü. C) çizgi grafik yükseklik ölçümü.



### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

#### 3.1. Hacimce Erozyon Miktarının Karşılaştırılması.

Tablo 1 ve 2’de numunelere ait veriler listelenmiştir. Görüldüğü üzere 5 bin ve 10 bin çevrimler arasında nispeten düşük

oranlarda hacim değişimi vardır. Fakat 20 bin anahtarlamada bu hacim değişimi beklenen şekilde 10 bin anahtarlamadan 2 katı’nın üzerinde oranında gerçekleşmiştir. Erozyon yüzey alanındaki artış ise hacimce değişimle doğrusallık göstermemektedir.

Tablo 1. Sabit kantağa ait erozyon verileri.

Numune	Erozyon hacmi ( $\mu\text{m}^3 \times 10^4$ )	Erozyon alanı ( $\text{mm}^2$ )	Yükseklik max ( $\mu\text{m}$ )
5S	78,16	0.17	12.63
10S	87,42	0.15	15,04
20S	19,28	0.23	26.93

Tablo 2. Hareketli kantağa ait erozyon verileri.

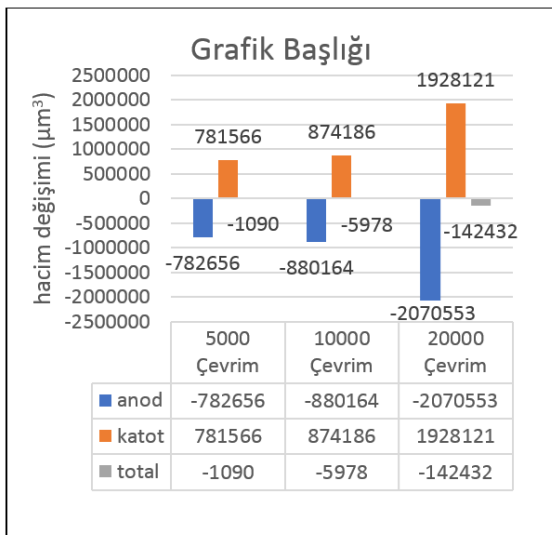
Numune	Erozyon hacmi ( $\mu\text{m}^3 \times 10^4$ )	Erozyon alanı ( $\text{mm}^2$ )	Derinlik max ( $\mu\text{m}$ )
50H	78,27	0.23	11.05
10H	88,02	0,18	17.35
20H	20,71	0.25	23.01

Şekil 17’de birbiri ile eş olan kontaklardan kaybedilen hacim ve biriken hacim verileri karşılaştırılıp bir grafik haline getirilmiştir. Kurulan devrede hareketli kontaklarımız anot; sabit kontaklarımız ise katot konumundadır. 5 bin, 10 bin ve 20 bin çevrim olmak üzere kontak çiftlerinin hacim değişimi grafiği oluşturulmuştur. 5 bin ve 10 bin çevrimde biriken ve erozyona uğrayan malzeme miktarlarının farkı çok küçük olurken; 20 bin çevrimde bu fark bir sıçrama göstermiştir.

#### 3.1. Elektriksel Veriler ile Erozyon Karakteristiğinin Yorumlanması.

Osiloskop verileri incelendiğinde kontaktörlerde iletme geçerken ve iletimi keserken ark oluştuğu gözlemlenmiştir. Fakat yapılan araştırmalara göre malzeme taşınımının genellikle kontaktörler kapanırken değil açılırken yaşandığı ortaya konulmuştur. Bu iki ark olayının yanı sıra düzensiz aralıklarda kontaktörler açıldıktan 1.5ms sonrasında ark olayı gözlemlenmiştir. Bu ark olayının gerçekleşme şekli birçok etmene bağlı olsa da gerçekleşme sebebi devre rezistif olarak hazırlansa da içinde barındırdığı indüktif yük bileşenidir. İndüktif ark oluşumu katottan anoda malzeme taşınmasını sağlayan bir erozyon mekanizmasına sahiptir. Bu erozyon mekanizmasında kontaklar arası mesafenin artışı malzeme taşınım oranını arttırmakta ve kullanılan daha yüksek akım-gerilim değerlerine ihtiyacı vardır (Jemaa et al., 1998). Düşük akım değerlerinde yaklaşık olarak 8 mm gibi bir kontak açıklığında katottan anoda gerçekleşen bu ark erozyonu dikkate alınabilecek bir birikim oluşturamamaktadır. Erozyonun varlığı 5S numunesinin yüzeyinde gözlemlenebilmiştir.

Deformasyon yüzeyinin iç kısımlarında anahtarlamalar sırasında oluşan rezistif ark sonucu birikme gözlemlenirken tepede oluşumunun etrafında pürüzlülüğü yüksek ve birkaç mikron derinliğinde çukurlaşmalar görülmektedir. Bu durum totalde gerçekleşen malzeme birikiminin önüne geçebilecek boyutlarda değildir. Tablo 1 ve 2 de verilen erozyon alanı değerleri



Şekil 17. Çevrim sayısına göre hacim değişimleri.

incelendiğinde 5 bin çevrim uygulanan numunelerin erozyona maruz kalan alanları 10 bin çevrim uygulanan numunelerden beklenmedik şekilde daha fazla olduğu görülmektedir. Bu numunelerin erozyon hacimlerinde ise beklenen şekilde 10 bin çevrimde daha fazla taşınım gözlemlenmiştir. Bu farklılığın sebebi yine düzensiz aralıklarla gerçekleşen indüktif ark oluşumu ve bundan kaynaklı daha geniş yüzey alanlarının deforme olmasıdır. Düşük akım ve gerilim şiddetlerinde kütle taşınımına etki eden temel mekanizma anot erozyonu olsa da deformasyon gözlemlenen yüzeyin genişliğine her iki erozyon mekanizması da etki sahibidir.

Şekil 17’de verilen grafikte görüldüğü gibi malzeme taşınımı anottan katoda gerçekleşmiştir ve net kayıp miktarı 20 bin anahtarlama sonunda yaklaşık olarak 1.4 µg olacak kadar küçüktür. Bu kayıp miktarı göz önünde bulundurulduğunda kontaktörler malzeme taşınımı neredeyse kayıpsız şekilde gerçekleşmiştir. Fakat malzeme kaybının lineer bir artış göstermediğini göz önünde bulundurursak daha yüksek çevrimlerinde ciddi kayıplar söz konusu olabilir.

Şekil 6’da osiloskop grafiklerine bakıldığında belirli bir anahtarlama sayısından sonra devrenin kapanmasında grafiklerdeki piklerde çiftlenme devrenin iletim konumuna geçişinde aksaklık yaşaması anlamına gelmektedir. Bu oluşuma benzer şekilde çeşitli uygulamalarda “bouncing” etkisinden bahsedilmiştir. Fakat “bouncing” olayında kontaktörleri tutan kirislerin elastik hareketinin etkisi vardır. Sonuç olarak ark oluşumuna etki etse de olayın gerçekleşme sebebi mekanik özelliklerden kaynaklanmaktadır (Swingler & McBride John W., 2008),(Hwang et al., 2020),(Zhu et al., 2017). Buna karşın çalışmamızda bu çatalanma durumu 10 bin çevrimden sonra gözlemlenmeye başlanmıştır. Şekil 16 incelendiğinde erozyon bölgesinde çukurlaşmanın olduğu yerin kenarlarında bir yükselti artışı gözlemlenmektedir. Bu durum plastik deformasyon veya sıvı metalin sıçraması ile gerçekleşebilir. Erozyon bölgeleri incelendiğinde ise birbirinden belirgin bir şekilde ayrı iki büyük çukur görülmektedir. Bu iki ayrı çukurun oluşumu iki farklı noktada temas sonucu ergimelerin gerçekleştiği anlamına gelir. Diğer numunelere ait şekil 11, 12, 14 ve 15 incelendiğinde ise erozyonun tek bir merkez etrafında yoğunlaştığı gözlemlenebilir. Bu veriler ışığında 20 bin anahtarlanmanın gerçekleşmesi sürecinde 20H numunesinde önce tek bir çukur oluştuğu ve 20S numunesinde ise tek bir tepe oluştuğu daha sonra ise bu topografik bozulma belli bir seviyeye gelince dinamik temas noktalarının değişerek yakın çevrelerde ikincil bir temas alanı oluşması söz konusudur. İletim grafiklerinde çift pik oluşumunun anahtarlama sayısının ilerlemesi ile belirginleşmesi ve şiddetlenmesinin bu deformasyon süreci ile ilgili olduğu çıkarımı yapılmıştır.

Şekil 8’de ark enerjisinin 10 bin çevrimden sonra tekrar azalmaya başlamasının sebebi de yüzeyde gerçekleşen bu bozulma sebebiyle yeni temas noktalarından iletime geçilmesi ve daha az deforme olmuş bu yüzeylerin elektrik iletiminin, sıvı metal havuzlarının ve ark erozyonu olayının yeni bölgesi olmasından kaynaklı olduğu çıkarımı yapılmaktadır.

#### 4. Sonuç

Yapılan bazı araştırmalar ark süresi ve ark enerjisi arasında doğrusal bir bağ olduğunu ortaya koymuştur (Zhu et al., 2017),(Hu et al., 2016). Bu yaklaşım oluşan ark şiddetinin sabit olduğu durumlarda doğrudur fakat bu çalışmada ark enerjisinin hesaplanması sırasında ark şiddetinin stabil olmadığı ve

değişkenlik gösterdiği hatta ark karakteristiğinin bile stabil olmadığı gözlemlenmiştir. Yapılan hesaplamalarda daha kısa ark sürelerinde daha yüksek akım ve voltaj değerlerinin olduğu kimi durumlarda süre düşük olsa da ark enerjisinin yüksek olduğu durumlar gözlemlenmiştir. Bu çalışma sırasında elde edilen bulgular şu şekildedir:

1. 12 VDC 5A rezistif bir devrede kullanılan dirençlerin indüktif bileşeninden kaynaklı tek çeşit bir ark oluşumu ve ark erozyonu gözlemlenmemektedir. Buna karşın net erozyon anottan katoda doğru gerçekleşmektedir.

2. Kullanılan numunelerde 10 bin çevrime kadar oluşan deformasyon elektrik verileri üzerinden gözlemlenemezken 10 bin çevrim ve sonrasında anahtarın kapanması ve iletime geçmesi sırasında grafiklerde belirgin bir farklılık oluşmaktadır. Bu grafikler incelenerek numunenin temas yüzeyi üzerindeki deformasyon hakkında fikir sahibi olunabilir.

3. 10 bin çevrime kadar artan ark enerjisinin sonrasında düşüşe geçmesinin sebebi malzeme yüzeyinde deformasyonlar sonucunda dinamik temas noktalarının değişerek ark erozyonunun deforme olmamış veya daha az deforme olmuş yeni bölgelere kayması olabileceği değerlendirilmiştir.

#### Kaynakça

- Abbaoui, M., Lefort, A., Sallais, D., & Jemaa, N. B. (2006). Theoretical and experimental determination of erosion rate due to arcing in electrical contacts. *Electrical Contacts - 2006. Proceedings of the 52nd IEEE Holm Conference on Electrical Contacts*, 103–109. <https://doi.org/10.1109/HOLM.2006.284072>
- Bıyık, S. (2015). TiO<sub>2</sub> Takviyesi İçeren AgSnO<sub>2</sub> Esaslı Elektrik Kontak Malzemelerinin Toz Metalurjisi Yöntemiyle Üretimi ve Ark-Erozyon Davranışlarının İncelenmesi. In *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı*.
- Cui, X., Zhou, X., Zhai, G., & Peng, X. (2016). Evaporation Erosion during the Relay Contact Breaking Process Based on a Simplified Arc Model. *Plasma Science and Technology*, 18(5), 512–519. <https://doi.org/10.1088/1009-0630/18/5/12>
- Hu, P., Hu, B. L., Wang, K. S., Yang, F., Song, R., Yu, Z. T., Wang, Q., Cao, W. C., Liu, D. X., An, G., Guo, L., & Yu, H. (2016). Arc erosion behavior of La-doping titanium-zirconium-molybdenum alloy. *Journal of Alloys and Compounds*, 685(3), 465–470. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2016.05.328>
- Hwang, S., Hwang, D., Baek, H., & Shin, C. (2020). Effect of Copper-Based Spring Alloy Selection on Arc Erosion of Electrical Contacts in a Miniature Electrical Switch. *Metals and Materials International*, 0123456789. <https://doi.org/10.1007/s12540-019-00602-x>
- Jemaa, N. Ben, Morin, L., Benhenda, S., & Nedelec, L. (1998). Anodic to cathodic arc transition according to break arc lengthening. *IEEE Transactions on Components, Packaging, and Manufacturing Technology. Part A*, 21(4), 599–602. <https://doi.org/10.1109/95.740051>
- Jing, W., Jianwen, W., & Liying, Z. (2011). Arc behavior of intermediate-frequency vacuum arc on axial magnetic field contacts. *IEEE Transactions on Plasma Science*, 39(6 PART 1), 1336–1343. <https://doi.org/10.1109/TPS.2011.2119496>
- Kharin, S. N., Nouri, H., & Miedzinsky, B. (2015). A comparative study of arc erosion at frequencies ranging 50–1000 Hz. *Electrical Contacts, Proceedings of the Annual*

- Holm Conference on Electrical Contacts, 2015-Febru*(February).  
<https://doi.org/10.1109/HOLM.2014.7031048>
- Lin, Z., Fan, S., Liu, M., Liu, S., Li, J. G., Li, J., Xie, M., Chen, J., & Sun, X. (2019). Excellent anti-arc erosion performance and corresponding mechanisms of a nickel-belt-reinforced silver-based electrical contact material. *Journal of Alloys and Compounds*, 788, 163–171.  
<https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2019.02.085>
- Liyang, Z., Jianwen, W., & Xueming, Z. (2013). Arc movement of intermediate-frequency vacuum Arc on TMF contacts. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 28(4), 2014–2021.  
<https://doi.org/10.1109/TPWRD.2013.2272590>
- Murzakaev, A. M. (2016). Erosion rate in a vacuum arc and in a gas arc at threshold currents. *Proceedings - International Symposium on Discharges and Electrical Insulation in Vacuum, ISDEIV, 2016-Novem.*  
<https://doi.org/10.1109/DEIV.2016.7748757>
- Mützel, T., & Niederreuther, R. (2012). Contact material combinations for high performance switching devices. *Electrical Contacts, Proceedings of the Annual Holm Conference on Electrical Contacts*, 179–184.  
<https://doi.org/10.1109/HOLM.2012.6336602>
- Rong, M., Ma, Q., Wu, Y., Xu, T., & Murphy, A. B. (2009). The influence of electrode erosion on the air arc in a low-voltage circuit breaker. *Journal of Applied Physics*, 106(2).  
<https://doi.org/10.1063/1.3176983>
- Swingler, J., & McBride John W., J. W. (2008). Micro-arcing and arc erosion minimization using a DC hybrid switching device. *IEEE Transactions on Components and Packaging Technologies*, 31(2 SPEC. ISS.), 425–430.  
<https://doi.org/10.1109/TCAPT.2008.921640>
- Tian, Y., Wang, Z., Jiang, Y., Ma, H., Liu, Z., Geng, Y., & Wang, J. (2016). Simulation of surface erosion of anode under high-current vacuum arcs. *Proceedings - International Symposium on Discharges and Electrical Insulation in Vacuum, ISDEIV, 2016-Novem*, 3–6.  
<https://doi.org/10.1109/DEIV.2016.7748744>
- Wu, C., Yi, D., Weng, W., Li, S., Zhou, J., & Zheng, F. (2015). Arc erosion behavior of Ag/Ni electrical contact materials. *Materials and Design*, 85, 511–519.  
<https://doi.org/10.1016/j.matdes.2015.06.142>
- Zhou, X., Heberlein, J., & Pfender, E. (1994). Theoretical study of factors influencing arc erosion of cathode. *Electrical Contacts, Proceedings of the Annual Holm Conference on Electrical Contacts, 1994-march*(1), 107–112.  
<https://doi.org/10.1109/HOLM.1992.246932>
- Zhou, Xue, Cui, X., Chen, M., & Zhai, G. (2015). Evaporation Erosion of Contacts under Static Arc by Gas Dynamics and Molten Pool Simulation. *IEEE Transactions on Plasma Science*, 43(12), 4149–4160.  
<https://doi.org/10.1109/TPS.2015.2497720>
- Zhu, S., Liu, Y., Tian, B., Zhang, Y., & Song, K. (2017). Arc erosion behavior and mechanism of Cu/Cr20 electrical contact material. *Vacuum*, 143, 129–137.  
<https://doi.org/10.1016/j.vacuum.2017.06.002>



# Bitkisel Hormonlar Sınıfının Yeni Bir Üyesi Olarak Strigolaktonlar

Semra Arıkan<sup>1</sup>, Şengül Karaman<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Kahramanmaraş, Türkiye (ORCID: 0000-0002-9242-8236), [semraarikan46@gmail.com](mailto:semraarikan46@gmail.com)

<sup>2</sup> Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Kahramanmaraş, Türkiye (ORCID: 0000-0001-7617-9917), [sengulk@ksu.edu.tr](mailto:sengulk@ksu.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 3 Haziran 2021 ve Kabul Tarihi 3 Kasım 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.947571)

**ATIF/REFERENCE:** Arıkan, S. & Karaman, Ş. (2021). Bitkisel Hormonlar Sınıfının Yeni Bir Üyesi Olarak Strigolaktonlar. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (27), 735-746.

## Öz

Strigolaktonlar (SL) bitkinin çeşitli biyotik ve abiyotik streslere tepkisinde rol oynayan terpen grubundan çok düşük moleküllü bitki hormonlarıdır. Bitki köklerinden toprağa sızan SL'ler sürgün ve kök gelişiminde, arbusküler mikorizal mantarının dallanmasının desteklenmesinde ve *Striga* (cadı otu), *Orobanche* (canavar otu) gibi parazit bitkilerin çimlenmesinde önemli rol oynarlar. Özellikle fosfat eksikliğinde SL ler kök gelişimi ve hifal dallanmayı artırarak bitkiye ihtiyaç duyduğu minerali bulmaya çalışırlar. 2008 yılında bitkisel hormon olarak kabul edilen SL'ler karotenoid türevi olup stres karşısında sürgün dallanmasını inhibe etmede, tohum çimlenmesi, kök mimarisi gibi çeşitli bitki gelişim aşamalarını uyarmada, bitki büyümesini ve gelişimini optimize etmede aktif rol alırlar. Bugüne kadar 30'dan fazla SL türevi tanımlanmış olmasına rağmen SL biyosentezi tam olarak açıklanamamıştır. Bu makalede strigolaktonların yapısı, biyosentezi, stres karşısında fizyolojik cevapları ve diğer bitkisel hormonlar ve bitki büyüme düzenleyicileri ile etkileşimi özetlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Strigolakton, Bitki hormonları, Arbusküler mikorizal mantar, Parazit bitki, Stres.

## Strigolactones as a New Member of Plant Hormones Class

### Abstract

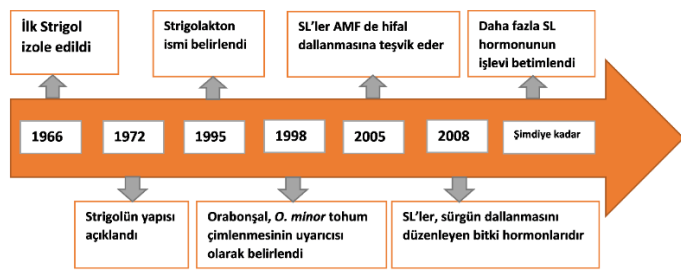
Strigolactones (SLs) are very low molecular plant hormones from the terpene class that play a role in the response of the plant to various biotic and abiotic stresses. SLs exuded by roots play an important role in the branching of arbuscular mycorrhizal fungus supported, shoot and root development, and germination of parasitic plants such as *Striga* (witch grass), *Orobanche* (monster grass). In particular in the lack of phosphate, the SLs try to find the minerals that the plant needs increasing the root development and hyphal branching. The SLs, accepted as plant hormones in 2008, are carotenoid derivatives and play an active role in inhibiting shoot branching against the stress, stimulating various stages of plant development like seed germination, the root architecture, optimizing plant growth and development. Although more than 30 SLs derivatives have been described so far, the details of the biosynthetic pathways remain unclear. In this article, the structure, biosynthesis, physiological responses against stress, interaction with other plant hormones and plant growth regulators of SLs are summarized.

**Keywords:** Strigolactone, Plant hormones, Arbuscular mycorrhizal fungi, Parasitic plant, Stress.

\* Sorumlu Yazar: [semraarikan46@gmail.com](mailto:semraarikan46@gmail.com)

## 1. Giriş

Strigolaktonlar (SL'ler), geniş bir bitki grubunca sentezlenen (kara yosunları, mantarlar ve Angiospermiler) ve bitki gelişiminde rol oynayan bir sinyal molekülüdür (Foo vd., 2013). 1823'te Vaucher, *Orobanch* (canavarotu) tohumlarının çimlenebilmek için konakçıdan uyarıcılara ihtiyaç duyduğunu bildirmiştir, yirminci yüzyılın başlarında yapılan araştırmalar da konakçı kökündeki bazı kimyasalların canavarotu tohumlarında çimlenmeyi teşvik ettiği tespit edilmiştir (Xie vd., 2010). İlk SL türevi strigol, 1966'da izole edilmiş, ancak yapısı 6 yıl sonra açıklanabilmiş, yapısının detaylarının tamamen belirlenmesi ise neredeyse 20 yıl sürmüştür (Cook vd., 1966; Zwanenburg ve Blanco-Ania, 2018). 'Strigolakton' ismi (Larry Butler tarafından verilmiştir), parazit cadı otu türlerinin tohumunun çimlenmesini teşvik etmesinden dolayı ve lakton halkası içeren kimyasal yapılarından dolayı verilmiştir (Butler, 1995; Čavar vd., 2015). *Orobanch* tohumlarında çimlenmeyi sağlayan madde kırmızı yoncanın (*Trifolium pratense* L.) kök sızıntılarından izole edilmiş orobanşal adı verilen SL türevi bir organik bileşik olarak tespit edilmiştir böylece hem *Striga* hem de *Orobanch* spp'nin çimlenmek için SL'lere ihtiyaç duyduğu netlik kazanmıştır (Mori vd., 1999; Xie vd., 2010). Bu bileşiklerin parazitik ilişkileri açıklandıktan sonra 2005 yılında bitki köklerinde simbiyotik yaşayan AM mantarlarının hifal dallanması üzerine SL'lerin etkisi keşfedilmiştir (Akiyama ve Hayashi, 2006). 2008'de SL'ler üzerine yapılan çalışmalarda, sürgün dallanmasını bastırmada rol oynadığı görülmüş ve bu nedenle bitki gelişimini modüle eden bitki hormonları listesine dahil edilmiştir (Gomez-Roldan vd., 2008; Lopez-Obando vd., 2015). SL üzerine devam eden çalışmalarda SL'lerin çoğunlukla diğer hormonlarla etkileşim halinde olduğu kök gelişimi, hipokotil uzaması, ikincil büyüme, erken fide gelişimi, yaprak yaşlanmasının düzenlenmesi, endosperm gelişimi (Kapulnik vd., 2011; Brewer vd., 2013; Koltai, 2013; Vurro vd., 2016; Mostofa vd., 2018) ve bunlara ek olarak kuraklık ve tuz stresine karşı yanıtta rolleri ortaya çıkmıştır (Van Ha vd., 2014; Du vd., 2018) (Şekil 1).

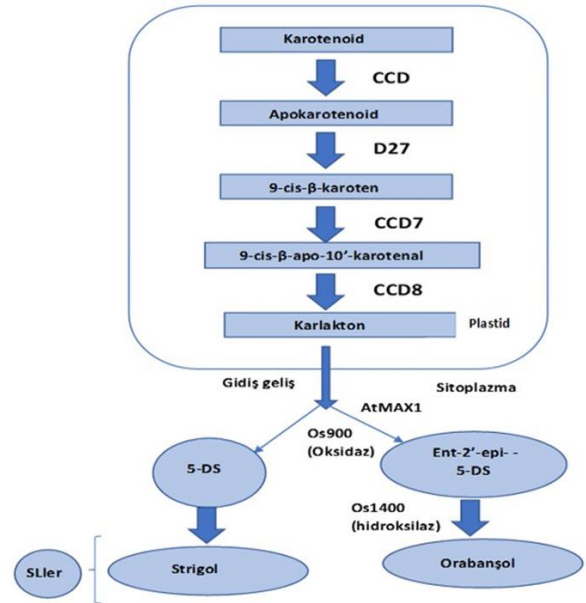


Şekil 1. SL'lerin keşfi ve biyolojik işlevlerinin tarihi gösterimi (Jia vd., 2019)

## Strigolaktonların kimyasal yapısı, biyosentezi ve çeşitleri

SL sentez yolları, *Arabidopsis thaliana*, pirinç (*Oryza sativa*), petunya (*Petunia hybrid*), bezelye (*Pisum sativum*), domates (*Solanum lycopersicum*) ve krizantem (*Dendranthema grandiflorum*) dahil olmak üzere birçok bitki türünde tanımlanmıştır (Koltai ve Kapulnik, 2011). Matusova vd. (2005) SL biyosentezinin karotenoid yolağı ile ilişkili olduğunu ortaya çıkarmışlardır. Strigolaktonlar terpen sınıfında 40 karbon atomu içeren karotenoidlerden oluşur (Smith, 2014; Borghi vd., 2016). Karotenoidler, bitkilerin çevresel strese olan tepkisini kontrol

eden absisik asitin de öncüleridir. SL biyosentezleri iki ayrı bölümde, plastid ve sitosolde meydana gelir. SL'in öncü maddesi karlaktonun üretimi plastidlerde gerçekleşir. Karotenoidden karlaktona kadar geçen sentez basamaklarında karotenoid cleavage dioksigenaz (CCD, CCD7, CCD8) ve D27 enzimleri görev alır. Karlaktonun sitoplazmada parçalanması sonunda SL oluşumu gerçekleşir (Banerjee ve Roychoudhury, 2018) (Şekil 2). Son zamanlarda, SL'lerin bitki içinde uzun mesafe translokasyonunda ve köklerden sızmasında görev alan SL'leri hücrenin dışına taşıyan ATP'ye bağlı taşıyıcı proteinler [petunya ABC proteini (petunya bitkisinde kök subepidermal hücreleri ve gövde/yaprak iletim sisteminde yer alan ABC taşıyıcısı Pleiotropic Drug Resistance1 (PDR1), hücrenel SL taşıyıcısı olarak tanımlanır)] keşfedilmiştir (Kapulnik ve Koltai, 2014; Özel, 2018). Bu taşıyıcılar sayesinde SL'lerin bitkilerin kök, gövde ve yapraktaki etkisi ortaya çıkmaktadır.



Şekil 2. SL'lerin biyosentetik yolu: strigolün ve orobanşolün oluşumu (Banerjee & Roychoudhury, 2018).

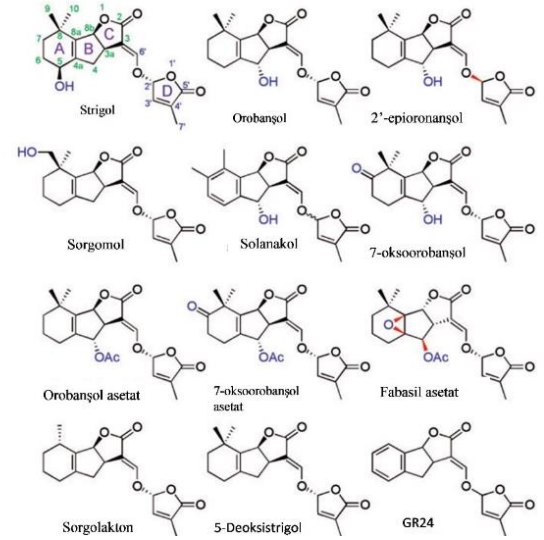
SL bir trisiklik lakton (ABC halkası) ve bir metilbutenolid halkasına (D halkası) sahiptir ve bu iki kısım bir enol eter bağı ile bağlanmıştır (Seto vd., 2012). Şimdiye kadar tanımlanan tüm doğal strigolaktonlar, biyolojik aktiviteden sorumlu olduğu düşünülen ortak C ve D halkasına sahiptirler (Yoneyama vd., 2008). Kimyasal yapılarına dayanarak, strigolaktonlar iki gruba ayrılabilir: kanonik ve kanonik olmayan SL'ler. Kanonik SL'ler, bir enol eter köprüsü aracılığıyla ABC halka sistemine bağlı butenolid D halkasını içerir, bu grup bugüne kadar karakterize edilen çoğu SL'i içerir. Kanonik SL'ler, C halkasının stereokimyasına göre strigol ve orobanchol tipi SL'ler olmak üzere 2'ye ayrılır (Xie vd., 2019). Aksine, kanonik olmayan SL'ler ABC halka sistemini değil, enol eter-D halka yapısını içerir yani D-halkası değişirse de ABC-halkalarından biri veya birkaçı yoktur (Yoneyama vd., 2018; Yoneyama vd., 2019; Bürger ve Chory, 2020). Kanonik olmayan SL'a avenol (Kim vd., 2014; Yasui vd., 2017), heliolakton (Ueno vd., 2014), zealackton (Charnikhova vd., 2017; Xie vd., 2017), zeapiranolakton (Charnikhova vd., 2018) ve lotuslakton (Xie vd., 2019) örnek verilebilir.

İlk keşfedilen SL olan strigolün kimyasal yapısı 1972 yılında aydınlatılmıştır (Cook vd., 1972). Uzun bir süre strigol tek doğal strigolakton molekülü olarak bilinmiştir. Sonrasında farklı

bitkilerin kök sızıntılarından farklı SL'ler izole edilmeye başlanmıştır. Mısır kök sızıntılarında 5-deoksistrigol, sorgomol ve son zamanlarda da zealakton ve zeapyranolakton olarak adlandırılan SL türleri keşfedilmiştir (Yoneyama vd., 2015; Xie vd., 2017; Charnikhova vd., 2017; Charnikhova vd., 2018). Benzer şekilde çalışılan Sorgum bitkisinin kök sızıntılarında strigol, sorgolakton, 5-deoksistrigol ve sorgomol dahil olmak üzere yapısal olarak farklı çeşitli SL'ler tanımlanmıştır (Awad vd., 2006; Xie vd., 2008; Jamil vd., 2013; Jia vd., 2019). Bugüne kadar, en az 25 farklı strigolakton tanımlanmıştır (Bouwmeester vd., 2019) (Şekil 3).

Doğal SL'lerin sentezi zor, zaman alıcı ve pahalı olmaları sebebi ile tarım uygulamaları için uygun değildir. Doğal olarak oluşan SL'ler, multigram ölçeğinde ve sentez için çok karmaşık bir yapıya sahiptir. Sentetik SL'ler doğal SL'lerden daha basit bir yapıya sahip olmaları ve biyoaktivitelerini muhafaza etmeleri açısından tercih edilmektedir (Vurro vd., 2016). SL'in sentetik analogu olan GR24'ün ismi ilk kez sentezleyen Gerry Roseberry adlı araştırmacının baş harfleri kullanılarak verilmiştir (Cardinale vd., 2018). GR24, stereoizomerlerin (hem 5-deoksistrigol hem de 4-deoksiorobanchol tiplerini bulundurur) bir karışımı olarak multigram ölçeğinde üretilmiştir (Vurro vd., 2016). Bu iki stereoizomerin enantiyomerleri (GR24<sup>5DS</sup> ile GR24<sup>ent-5DS</sup> veya GR24<sup>4DO</sup> ile GR24<sup>ent-4DO</sup>) eşit miktarda karıştırılıp rasemik GR24 (rac-GR24) elde edilmektedir (Scaffidi vd., 2014; Özbilen, 2019). Sentetik GR24 biyolojik çalışmalarda çimlenme uyarıcısı ve hormonların fizyolojik etkilerini test etmede SL'ler için bir model bileşik olarak kullanılmaktadır (Zwanenburg ve Blanco-Ania, 2018).

SL'lerin çok işlevli moleküler rolünden dolayı, basit SL inhibitörlerinin sentezlenmesi ve inhibitörler ile SL karşılaştırması hem temel araştırmalarda hem de tarım uygulamalarında önemli bir rol oynamaktadır. Fluridon, tüm karotenoidlerin ve karotenoid türevli metabolitlerin biyosentezini inhibe ettiğinden SL biyosentezinin de bir inhibitörü olabilir diye düşünülmüştür. Fakat fluridon klorofilin foto tahribatına ve hücrelerde ölümcül hasara neden olduğu için, SL'lerin bitkilerdeki biyolojik rollerini incelemek için ideal bir inhibitör olamamıştır (Nakamura ve Asami, 2014). Bunun yerine SL biyosentez inhibitörleri olarak ilk önce TIS13 (2,2-dimetil-7-fenoksi-4-(1H-1,2,4-triazol-1-il) heptan-3-ol) adlı kimyasal sentezlenmiştir. Bu kimyasal ile yapılan deneylerde SL seviyeleri azalsa da SL biyosentezinin inhibisyonu ile ilişkili olmayan bazı anormal fenotipler gözlenmiştir. Yan etkileri azaltmak için birçok TIS13 türevi sentezlenmiştir ve daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. İçlerinde en yaygın kullanılanı TIS108 (6-fenoksi-1-fenil-2-(1H-1,2,4-triazol-1-il) heksan-1-on) olarak bildirilmiştir (Ito vd., 2013).



Şekil 3. Bazı doğal strigolaktonların yapısı ve sentetik analog GR24 (Yoneyama vd., 2010).

## 2. Strigolaktonların Simbiyotik ve Parazitik İlişkisi

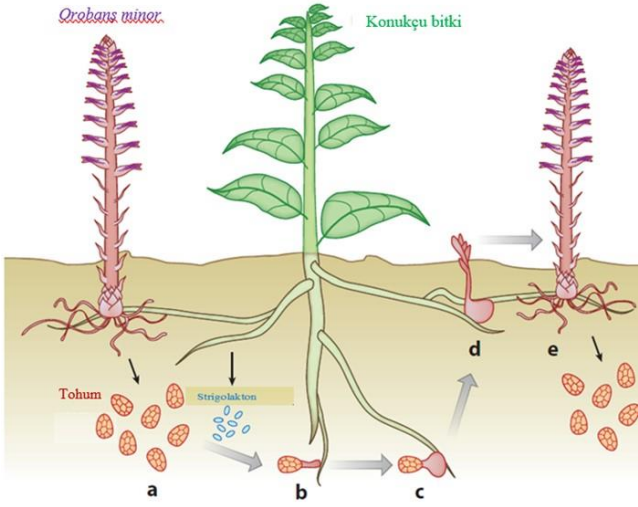
### 2.1. Hifal dallanmaya etkisi

Bitki köklerindeki mantarlar bitkiye çeşitli faydalar sağlamaktadır, fungal hifler özellikle fosfat ve nitrat gibi bitkinin ihtiyacı olan mineralleri elde etmek ve su alımı için toprağa yayılır buna karşılık bitkiden karbon ve azot metabolitlerini (enerji ve amino asitler) kullanır (Smith, 2014). Arbusküler mantarlar (AM) zorunlu biyotroflardır ve konakçı bitki bu mantarlar için çok önemlidir. Sporları genellikle kendiliğinden üreyebilir, ancak hifal büyümesi sınırlı olup konakçı bitki yokluğunda son bulur. Strigolaktonlar, AM mantarlarının presimbiyotik büyümesini son derece düşük konsantrasyonlarda aktive etmektedir (Gomez-Roldan vd., 2007). Bitki sızıntıları ilk koloni oluşumunda önem kazanmaktadır. Bitki kökleri, mikorizal mantar partnerliğini etkinleştiren SL'ler salgılayarak hem çimlenme hem de hifal dallanmasını uyarır (Steinkellner vd., 2007). Özellikle fosfat eksikliğinde bitkide SL üretiminin arttığı ve bu durumun hifal dallanmayı artırarak AM hiflerinin bitki için gerekli fosfatı topraktan sağlamaya çalıştığı görülmüştür (Bouwmeester vd., 2019). Strigolaktonların kök mikrobiyomunu şekillendirmedeki potansiyel rolü araştırmacıların dikkatini çekmiştir. Teknolojideki gelişmeler ile artan SL üretimi ile faydalı mikroorganizmalardaki artış sonucunda verimde de artış kaçınılmaz olacaktır (Bouwmeester vd., 2019).

### 2.2. Strigolakton ve konukçu özgünlüğü

Cadı otu ve canavar otu, Canavar otugiller ailesine ait en tahrip edici kök parazit bitkilerdir ve dünya çapında önemli ürün kaybına neden olmaktadır (Ćavar vd., 2015). Türlerin çoğu zorunlu bir parazittir ve konukçunun yokluğunda yaşam döngüsünü tamamlayamamaktadır. Yaşam döngüsündeki ilk önemli adım, tohum çimlenmesidir. Parazit tohumları, konukçu kökleri tarafından üretilen ve sızan bir kimyasal tarafından uyarılınca kadar uykuda kalır (Akiyama ve Hayashi, 2006). SL türevleri sayesinde çimlenmiş parazit tohumları konakçı bitkilerin köklerine doğru gelişerek hostoryumları ile köklere tutunurlar. Konakçı ve parazit arasındaki vasküler bağlantılar kurulduktan sonra, parazit bitki gelişebilir (Şekil 4). Parazit bitkinin besin

maddelerini elde etmesi sonucu konakçı bitkinin ürün verimi ciddi şekilde etkilenir (Zwanenburg vd., 2016a). Bu olaydan yola çıkarak SL'lerin ilk önerilen uygulamaları "intihar çimlenmesi" olarak adlandırılan parazit yönetimi olmuştur. Parazitik bitkilerin tohumları çimlendikten sonra konakçuya ulaşamazlar ise çok kısa bir süre hayatta kalabilirler, bu stratejinin ardındaki fikir, konakçı bulunmadığı zamanda sentetik SL türevleri ile parazitik tohumların çimlenmesini uyarmak ve böylece çimlendirilmiş tohumları konakçuyu bulamayacağı için ölümlerinin gerçekleşmesi sağlanmış olacaktır (Vurro vd., 2016). Bu amaçla tütün bitkisinde Orobanç kontrolü için SL analoglarından Nijmegen-1 ile yapılan tarla denemeleri, parazitlerin intihar çimlenmesi ile kontrol altına alınabileceğinin kanıtlamaktadır (Zwanenburg vd., 2016b).



Şekil 4. Parazit *Orobanche minor*'un hayat döngüsü. (a) Parazit tohumu çimlenmesi, konakçıdan sızan SL türevi uyarıcılar ile sağlanır. (b) Parazit tohum hostoryumları konakçı köküne ulaşır. (c-d) Parazit fideleri, çiçek açan sürgünlerinin ortaya çıkmasından önce birkaç hafta veya ayda yeraltında gelişir. (e) Konakçıdan besin sağlayan parazit, toprakta uzun yıllar yaşayabilecek çok sayıda tohum üretir (Xie vd., 2010).

### 3. Strigolaktonların Bitki Gelişimindeki Roller

#### 3.1. Strigolaktonlar gövde dallanmasını inhibe ederler

Bitkilerde dallanma genetik olarak belirlenirken, çevre değişimlerine yanıt olarak da aksiler tomurcukların davranışı değişebilmektedir (Xie vd., 2010). Sürgün dallanması, çeşitli faktörler ile hormonal sinyal etkileşimi ile düzenlenir. Dallanmada etkin rol oynayan oksin, SL ve sitokinin biyosentez genlerinin ekspresyonunu düzenlemektedir. SL'lerin, oksin kusurlu bitkilerde ve oksin sinyal mutantlarında dallanmayı inhibe ettiği belirtilmektedir (Koltai ve Beveridge, 2013). Sürgün dallanmasının önleyicileri olarak SL'lerin keşfi, hormonun biyolojik aktivitesine önemli bir boyut ortaya koymuştur (Marzec, 2016a). Sınırlı besin alımı durumunda bitkiler, yeni sürgün üretimini en aza indirgeyerek sınırlı miktarda besin kaynaklarını mevcut sürgünlere yönlendirmektedir (Xie vd., 2010). Umehara vd., (2010) bu görüşü test etmiş düşük fosfor koşullarında artan

SL miktarı ile pirincin sürgün büyümesinin bastırıldığını, bununla birlikte SL sentezi eksik mutantlarda sürgün büyümesinin baskılanmadığını gözlemlemişlerdir. Umehara vd., (2015), doğal ve sentetik SL'lerin sürgün dallanma inhibisyonu üzerindeki etkisini değerlendirmek için SL eksikliği olan pirinç ve *Arabidopsis* mutantları ile yaptıkları çalışmada SL analogu olan GR5'i, hidrofonic kültür ortamına uyguladıklarında hem pirinçte hem de *Arabidopsis*'te sürgün dallanmasını inhibe ettiğini gözlemlemişlerdir. SL sentezinin özellikle düşük fosfor koşullarına tepki olarak strese yanıt olarak bitki tarafından dallanmanın baskılanması için gerekli olduğu anlaşılmaktadır.

#### 3.2. Strigolaktonun kök üzerine etkisi

SL'ler primer köklerin ve kök tüylerinin uzamasını arttırırken lateral köklerin oluşumunu bastırmaktadır (Koltai, 2015). Uygulanan GR24'ün tüm konsantrasyonlarında primer kök gelişiminde SL biyosentez genlerinden MAX2 (more axillary growth locus 2)'ye bağlı artış kaydedilmiştir. Lateral köklerde SL'ler, oksinin lateral köklerin oluşumunu düzenlediği PIN proteinlerini kontrol ederek oksin akışını etkileyebilir. SL uygulaması, köklerdeki PIN oksin akış taşıyıcılarına müdahale eder ve lateral kök primordiyumunda PIN1-GFP yoğunluğunda azalmaya yol açar, böylece lateral kök oluşumu için gerekli oksin konsantrasyonunu değiştirerek lateral kök oluşumunu baskılar (Brewer vd., 2009; Sun vd., 2014; Bhatt ve Bhatt, 2020). Kök tüyleri topraktan su ve besinleri emer, ayrıca rizobium ve baklagiller arasında simbiyotik etkileşimlerin kurulmasına yardımcı olur. *Arabidopsis*'in SL mutantlarının yabancı tiplerden daha kısa kök tüyleri oluşturduğu, ancak GR24'ün ekzojen uygulamasından sonra diğer mutantlarda ve yabancı bitkilerde önemli ölçüde daha uzun kök tüyleri olduğu görülmüştür (Faizan vd., 2020). Oksin ve SL'lerin kök üzerine araştırmak amacı ile çimlenmiş domates tohumları oksin içeren petri kaplarına yerleştirilmiş ve ortama farklı konsantrasyonlarda GR24 ilave edilmiştir. GR24 uygulamalarında (0.027-13  $\mu\text{M}$ ) yüksek konsantrasyonlar (2.7, 8.1, 13.5  $\mu\text{M}$ ) ana kök uzunluğu üzerindeki oksinin baskılayıcı etkisini ortadan kaldırmıştır. Yüksek konsantrasyonlarda SL asimetrik kök büyümesine ve kök tüyü uzamasının inhibisyonuna yol açmaktadır (Koltai vd., 2010).

#### 3.3. Strigolakton ve Yaprak primordiyumuna ekisi

SL'ler yaprak yaşlanmasını hızlandırır, boğum arası uzamasını teşvik eder ve yaprak şeklini de kontrol ederler (Yamada vd., 2014). Yaprak yaşlanması, besin açısından fakir bir toprak ortamında aktif olarak teşvik edilir ve besinler eski yapraklardan genç dokulara ve tohumlara taşınır (Yamada ve Umehara, 2015). SL eksik ve SL'e duyarsız mutantlarda yaşlanmanın geciktiği bildirilmiştir. SL'ler karanlığa bağlı yaprak yaşlanmasını da düzenlemektedir (Ueda ve Kusaba, 2015). Ayrıca *Arabidopsis* ve pirinç yapraklarına GR24 uygulamasında hem *Arabidopsis* hem de pirinçte SL eksik mutantlara yapılan uygulamada yaprak yaşlanmasını arttırdığı gözlemlenmiştir (Joshi vd., 2019). *Arabidopsis*'te, SL eksik ve yanıt mutantları, daha kısa yaprak sapları ile daha yuvarlak rozet yaprakları sergilemektedir. Hidrofonic ortamda yetiştirilen SL eksikliği olan *Arabidopsis* mutantları ekzojen rac-GR24 uygulaması yapılarak yaprak şeklini eski haline getirilmiştir. (Scaffidi vd., 2013; Rameau vd., 2019).

## 4. Stres Şartlarında Strigolaktonlar

### 4.1. Strigolakton-Besin Eksikliği İlişkisi

SL'lerin bitkide sentezlenme oranı, topraktaki bazı mineral seviyelerine karşı oldukça duyarlı olup düşük fosfat ve azot koşulları altında SL seviyelerinin önemli ölçüde arttığı bildirilmiştir (Umehara vd., 2010; Sun vd., 2014). Düşük fosfat şartlarında SL'lerin artan düzeyleri dallanmayı baskılar, yan kök oluşumunu ve kök tüy yoğunluğunu artırır, SL yolu kusurlu olan mutantlar düşük fosfata daha az tepki verirler (Brewer vd., 2013). SL'lerin fosfat homeostazisinin yönetimindeki rolü dışında, SL'ler azot ihtiyacına bağlı olarak bitki büyümesini düzenleyen olası bir yol olarak da bilinirler. *Arabidopsis*te SL-biyosentez (max1-1) ve SL'e-duyarsız (atd14-1) mutantlar ile yapılan bir çalışmada, azot eksikliğinde değişen yanıtlar gözlemlenmiştir. Sınırlı azot şartları altında, SL biyosentez genlerinin (MAX3 ve MAX4) ekspresyon seviyelerinin arttığı fark edilmiştir (Mishra vd., 2017). Fosfat ve nitrat eksikliğinde köklerden sızan SL'ler AM mantarı tarafından algılanır ve simbiyoz oluşturmak için gerekli bir adım olan hifal dallanmasına neden olur. AM mantarları, fosfat ve nitrat gibi inorganik besinler elde etmede bitkiye yardımcı olduklarından eksikliği durumunda SL seviyelerinin artışı bitki için hayati bir stratejidir (Seto vd., 2012). Azot eksikliği, yaprak yaşlanmasının neden olduğu klorofil içeriğinin azalmasını hızlandırır. Azot eksikliği koşulları altında uygulanan GR24 azot eksikliğinin göstergesi olan bitki ağırlığı ve klorofil içeriğindeki azalmaları bastırmıştır (Ito vd., 2015).

### 4.2. Strigolakton- Biyotik ve Abiyotik Stres İlişkisi

Son zamanlarda yapılan araştırmalarda, SL'lerin besin eksikliği karşısında sürgün dallanmasının engellenmesinde, kök mimarisinin modüle edilmesinde ve yaprak yaşlanmasının arttırılmasındaki rollerinin yanı sıra SL biyosentez gen ekspresyonunun artan düzeyi kuraklık, tuzluluk, ışık ve soğuk stresi gibi bitkilerin abiyotik streslerde hormonun pozitif düzenleyiciler olarak görev yapabileceğini göstermektedir (Van Ha vd., 2014; Visentin vd., 2016; Min vd., 2019). Aroca vd. (2013), AM ile simbiyotik ilişkili marul bitkilerinde tuz stresinde SL üretimindeki artışın AM mantar büyümesini tetiklediğini ve böylece stres koşulları ile bitkinin başa çıkmasına yardımcı olduğunu ileri sürmektedir. *Arabidopsis*'de kuraklık ve tuzluluk tepkisine cevabın SL arabuluculuğuyla olduğu gözlemlenmiştir. SL biyosentez (max3 ve max4) ve yanıt (max2) mutantları ile yapılan çalışmaların sonucunda, incelenen tüm mutantlarda SL bulunmadığı için bitkilerin kuraklık ve tuz stresine karşı hassasiyet gösterdiği bulunmuştur (Van Ha vd., 2014). GR24 uygulanan üzümlerin kuraklık koşullarında büyüme durumunu inceleyen Min vd. (2019) GR24 uygulanan bitkilerde fotosidasyonlardaki oksidaz kaynaklı hasar dahil olmak üzere olumsuz etkilerin azaldığını ve GR24'ün klorofil miktarını ve farklı hormonların seviyelerini de düzenlediğini bildirmişlerdir. Araştırmacılar GR24 uygulanmasının, asma fidelerinin kuraklık toleransı geliştirmesinde etkili bir strateji olabileceği sonucuna ulaşmışlardır. SL'ler, kalsiyum, azot, demir, sülfür, fosfor ve alüminyum dahil olmak üzere besinlerin ve ağır metallerin olumsuz etkisini hafifleterek kök ve kök tüylerinin gelişiminin düzenlenmesinde rol oynar (Koltai ve Kapulnik, 2011, Emamverdian vd., 2020). Tohumlar yüksek sıcaklık, sınırlı ışık veya ozmotik stres gibi çeşitli abiyotik stres koşullarına uzun süre maruz kaldıklarında bitki çimlenmeye uygun hale gelse bile çimlenme yeteneği azalır. Toh vd., (2012) yaptıkları çalışmalarında *Arabidopsis* tohumlarının yüksek sıcaklığa maruz

bırakarak ekzojen GR24 uygulamışlardır. Yapılan çalışmada SL'lerin termo inhibisyona ve tohumların ikincil uyku haline etkisi gözlenmiş olup tohum çimlenmesinde SL'lerin olumlu yönde bir rolü olduğu ortaya çıkarılmıştır. Farklı bir çalışmada yüksek sıcaklık altında ekzojen uygulanan GR24'ün, SL kusurlu *Arabidopsis* mutantında çimlenmeyi sağladığı gözlenmiştir (Tsuchiya vd., 2010). Tohum kabuğunu yumuşatmak veya tohum embriyosunun olgunlaşmasına izin vermek için yapılan sıcak katlama sırasında, uykuda olan canavar otu (*Phelipanche ramosa* L. *Pomel*) tohumunun çimlenmesi ABA miktarını azaltan SL tarafından sağlanır (Lechat vd., 2015). SL'lerin ışığa karşı pozitif tepkiler verdiği öne sürülmüştür. Mashiguchi vd., (2009) *Arabidopsis* fidelerinde GR24 uygulamasında kısa bir süre sonra (90 dakika) ışık sinyaline bağlı genlerin indüklendiğini tespit etmişlerdir. Yabani tip domates bitkilerinin ve SL sentezi eksik domates mutanı SI-ORT1'in köklerinde ve sürgünlerinde yapılan analizler SL'lerin bitkinin ışık hasarını azaltan pozitif düzenleyiciler olduğunu bildirmişlerdir (Koltai ve Kapulnik, 2011). Işık stresine maruz kalan tohumlarda içsel üretilen SL lerin çimlenmede küçük bir rol aldığı düşünülmektedir. Ancak SL'lerin cadı otu ve canavar otu tohumlarının çimlenmesinde rolleri çok güçlüdür (Zwanenburg ve Pospisil, 2013). SL'lerin, spesifik patojenlere karşı bitkide dayanıklılığı artırdığı bildirilmektedir (Marzec, 2016b). SL-kusurlu ccd8 domates (*Solanum lycopersicum*) mutantlarının yaprakları, *Botrytis cinerea* ve *Alternaria alternate* 'ın neden olduğu enfeksiyonlara karşı oldukça hassastır (Torres-Vera vd., 2014). Nasir vd. (2019) yaptıkları çalışmalarında pirinçte zarar verici patojen mantar *Magnaporthe oryzae*'ye karşı SL'lerin bitkideki savunmayı artırdığını bildirmişlerdir. Mutant *A.thaliana* bitkileri ile yapılan çalışma SL'in *Rhodococcus fascians*, *Pectobacterium carotovorum* ve *Pseudomonas syringae* gibi bakterilerin enfeksiyonuna karşı bitki direncindeki olumlu rolünü göstermektedir (Mishra vd., 2017).

## 5. Strigolaktonlar ve Diğer Hormonlar Arasındaki İlişki

Bitki verimliliğini olumsuz yönde etkileyen ve gelecekteki gıda güvenliğini tehdit eden çevresel streslere karşı bitki toleransının arttırılmasında fitohormonlar merkezi rol oynamaktadır (Poza vd., 2015). SL'lerin aksiller tomurcuk büyümesinin inhibisyonunda rol oynadığının keşfinin devamında kök mimarisi, ikincil büyüme, hipokotil uzaması ve tohum çimlenmesine etkilerinin diğer hormonlarla etkileşimi sonucu gerçekleştiği bildirilmiştir (Cheng vd., 2013). Son zamanlarda SL'ler ve diğer hormonlar arasındaki karşılıklı ilişkinin bitki fizyolojisine ve morfolojisine önemli katkısı olmuştur (Zhang vd., 2013; Mostofa vd., 2018). Bu bölümde strigolaktonların diğer bitki hormonları ile ikili ilişkilerini açıklayan son bulgular özetlenmiştir.

### 5.1. Strigolakton-Oksin

Çeşitli çalışmalar oksin ve SL'ler arasındaki haberleşmeyi (cross-talk) ortaya çıkartmıştır. SL'lerin, oksin destekli ikincil haberciler olarak bitkide büyüme bastırma için tomurcuklara doğru hareket ettiği öne sürülmektedir (Brewer vd., 2009; Dun vd., 2009; Ferguson ve Beveridge, 2009; Kapulnik vd., 2011). SL'ler, oksinin polar taşınmasını sistemik ve bölgesel olarak kısıtlayarak yan sürgün dallanmasını baskılaması için tomurcuklarda büyüme engelleyen seviyelerde oksin birikmesine neden olur (Bartoli vd., 2013). Bu durum SL'lerin oksin ile sinerjik olarak hareket ettiğini göstermektedir (Brewer



vd., 2009; Crawford vd., 2010; Zhang vd., 2013). Polar oksin taşınmasında sürgün dallanmasının kontrolünün SL'ler tarafından düzenlendiği, SL'lerin oksinin bazal taşınmasını azalttığı ve oksinin varlığında SL'lerin gövde üzerindeki iki dal arasındaki rekabeti arttırdığı bildirilmiştir (Crawford vd., 2010; Koltai, 2013). Diğer taraftan SL'ler oksin ile zıt çalışarak yaprak yaşlanmasını da düzenler (Yamada vd., 2014). SL'lerin, oksin akışını düşürerek vasküler kambiyumda hücre bölünmesini aktive etmesi ile sekonder büyüme üzerinde doğrudan pozitif bir etkisi vardır (Agusti vd., 2011). Bensmihen, (2015) yapmış olduğu çalışmada sınırlı fosfat koşullarında yetiştirdiği *Arabidopsis* mutantlarında yabani tip bitkilerden daha yüksek sayıda yan kök gözlemlenmiştir. Araştırmasında *Arabidopsis*'te olduğu gibi baklagillerde de SL tepkilerinin oksin tepkileriyle yakından ilişkili olduğunu her iki hormonun etkisinin bitkideki fosfat durumuna bağlı olarak değişmekle birlikte, yan kök oluşumu ve nodül oluşumunda negatif düzenleyiciler olduğunu bildirmiştir. Oksin, incelenen tüm türlerde hem sürgünlerde hem de köklerde kanonik sinyal yolu aracılığıyla SL sentez genlerinin ekspresyonunu pozitif olarak düzenlemektedir (Rameau vd., 2019).

## 5.2. Strigolakton-Sitokinin

Sitokininler (CK) sürgün dallanmasının teşvik edilmesi, yaprak yaşlanmasını önleme ve meristematik aktivitenin desteklenmesi gibi önemli faaliyetlerde görev alırlar (Rameau vd., 2019). CK ve SL sentezinin farklı fizyolojik süreçlerde değiştiği bildirilmiştir (Jiang vd., 2016). CK'lar SL'ler ile tomurcuk aktivasyonu ve sürgün dallanmasında antagonistik olarak, adventif köklenmede birbirlerinden bağımsız, ancak yan kök gelişiminin düzenlenmesinde sinerjik olarak hareket ederler (Dun vd., 2012; Zhang vd., 2013; Manandhar vd., 2018). Her iki hormon da diğerinin biyosentez genlerinin ekspresyonunu düzenler (Ferguson ve Beveridge, 2009; Rameau vd., 2019). SL'ler ile ilişkili genlerin CK biyosentezine aracılık ettiği ve kökten dışa aktarıldığı gösterilmiştir, ancak SL taşınması üzerinde CK'nin etkisi hakkında bilgi bulunmamaktadır (Omoarelojie vd., 2019). GR24 meristem hücre sayısı ve büyüklüğünde artışı teşvik ederken, CK hücre farklılaşmasını teşvik eder ve dolayısıyla meristem büyüklüğünü azaltır (Ioio vd., 2008; Ruyter-Spira vd., 2011; Koren vd., 2013; Omoarelojie vd., 2019). SL'nin ABA-GA dengesini GA lehine düşürdüğü ve tohumda çimlenmeye yönelik olarak CK seviyelerini artırdığı gözlenmiştir (Mishra vd., 2017).

## 5.3. Strigolakton-Etilen

Hem SL hem de gaz formunda olan etilen tohum çimlenmesi, yaprak yaşlanması, kök tüy uzaması ve hipokotil büyümesi dahil çeşitli bitki büyümesi ve gelişim süreçlerinde aktif rol oynar (Cheng vd., 2013; Ueda and Kusaba 2015; Wani vd., 2020). Kapulnik vd., 2011 de etilen, oksin ve strigolakton arasındaki ilişkiyi belirlemek için yaptığı çalışmada oksin ve etilenin, kök tüy uzaması üzerinde olumlu etkileri olduğunu göstermiştir. SL ve etilen *Arabidopsis*'deki kök tüy uzamasının düzenlenmesinde etkili olurken, etilenin SL'lere epistatik (birbirlerinin etkisini bastıran) etkisi olmasına rağmen SL'lerin kök tüy uzaması üzerindeki etkisini göstermesi için etilen sentezlenmesi gerektiği bildirilmiştir. SL'lere kök tüy yanıtı için etilen yolu gerekliliği, etilenin SL ve oksin yolları arasında bir çapraz iletişim bağlantısı oluşturduğunu göstermektedir (Kapulnik vd., 2011). Işık uygulamaları sırasında, SL'ler HY5'in (Long Hypocotyl5) ekspresyonunu artırarak hipokotil uzamasını inhibe eder (Jia vd., 2014). Aksine, etilen, COP1 (Yapısal Fotomorfogenez 1) yoluyla HY5 bozunmasını artırarak hipokotil

uzamasını destekler (Yu vd., 2013). Bunlar, hipokotil büyümesini düzenlemede bu iki hormonun zıt rollerini gösterir (Wani vd., 2020). SL'ler, yaprak senesensi sırasında etilenin aracılık ettiği ilgili sinyalleri aktive eder (Ueda ve Kusaba, 2015). SL'lerin parazit bitki *Striga*'nın tohumlarında etilen biyosentezini indüklediği ve çimlenmelerine yol açtığı gösterilmiştir. Bu nedenle, SL'lerin bitki üzerindeki etkisi etilen biyosentezini etkilemektedir (Sugimoto vd., 2003; Koltai, 2013; Rasmussen vd., 2017). SL'ler, topraktaki fosfat miktarının eksikliğine yanıt olarak farklı gelişim programlarını aktive etmek için oksin ve etilen sinyalleme yolları arasındaki dengeyi ayarlamaktadır, böylece pozitif bir geri bildirim döngüsü aracılığıyla kendi biyosentezini kontrol etmiş olmaktadır (Koltai, 2013).

## 5.4. Strigolakton-Absisik asit

Absisik asit (ABA), tohum gelişimi, uyku hali ve stres toleransının düzenlenmesinde önemli role sahiptir. Çalışmalarda SL biyosentezinin düzenlenmesinde ABA'nın rol oynadığı görülmektedir (López-Ráez vd., 2010). *Arabidopsis*'te yapılan çalışmada, SL'lerin, termo-inhibisyon sırasında ABA'nın inhibe edici etkisine karşı koyarak tohum çimlenmesini pozitif olarak düzenlediği tespit edilmiştir (Zhang vd., 2013). Ferrero vd., (2018) üzümde GR24 ve ABA uygulaması ile yaptıkları çalışmada her iki hormonun birlikte uygulanmasında antosiyanin birikiminin geciktiğini, tek başına GR24 ile muamele edilmiş meyvelerde antosiyanin birikiminde kontrol grubu ile hiçbir fark olmadığı veya çok az olduğunu ve SL'in üzüm meyvelerinin olgunlaşmasında ABA yerine kullanılabilme potansiyelini bildirmişlerdir. Strese tepki ve adaptasyon ile yakından ilişkili iki özellik olan stomaların kapanması ve yaprak yaşlanmasının düzenlenmesinde ABA, CK ve SL'nin işlevleri vurgulanmaktadır. ABA ve SL yaprakların yaşlanmasını teşvik ederken, CK yaprak yaşlanmasını geciktirir. Öte yandan, ABA ve SL stomal kapanma ve dolayısıyla strese tepkide pozitif düzenleyiciler olarak hareket ederken, CK aynı sürecin negatif bir düzenleyicisi olarak hareket etmektedir. (Van Ha vd., 2014). Ekzojen ABA, özellikle stres koşullarında SL birikimini artırabilmektedir. Ayrıca, SL ve ABA tuz stresine karşı bitkideki savunmanın düzenlenmesi ve konakçı bitkiler ile AMF arasında simbiyotik ilişkilerin kurulması için kritik öneme sahiptir (Ren vd., 2018). Bitkide strese toleransın indüklenmesinde SL ve ABA arasındaki ilişkinin karmaşık olduğu çeşitli çalışmalarda gösterilmektedir. Haider vd., (2018) yapmış oldukları çalışmalarında, SL ve ABA yolları arasında bir bağlantı olduğunu ve pirinçte ABA ve SL sentezinde D27 geninin önemli rol oynadığını ve bu genin ürünlerde kuraklığın iyileştirilmesi için umut verici bir yolak olabileceğini bildirmişlerdir.

## 5.5. Strigolakton-Gibberellik asit

Gibberellik asit (GA) tohumun uyku halini kırmak, tohum gelişimini ve kök büyümesini, bazı bitkilerin yapraklarında mitotik bölünmeyi ve bitki ve çiçek büyümesini teşvik etmekte sorumlu hormondur (Rameau vd., 2019). Son çalışmalar, GA ve SL'lerin bitki gelişimi süreçlerinde birlikte hareket edebileceğini göstermektedir (Marzec, 2017). De Saint Germain vd., (2013) internod uzamasının düzenlenmesindeki SL'in rolünü araştırmak için bezelye ile yaptıkları çalışmada GA'dan bağımsız olarak SL'lerin bezelyede hücre bölünmesini ve hücre içi uzamasını etkileyerek internod uzamasını uyardığını bildirmişlerdir (Rameau vd., 2019; Omoarelojie vd., 2019). SL yönünden eksik *O. sativa* mutantlarından cüce bitki elde etmişlerdir. Bu bitkilerde GA uygulaması ile cüceliği engellemişlerdir. İlginç bir şekilde, cüce bitkilerin GA'ye karşı duyarlılığı azalmıştır. SL

biyosentezindeki veya sinyalindeki eksiklik, GA içeriğinin azalmasına ve GA tepkisinin zayıflamasına yol açmaktadır ve bu da hücre bölünmesi ve hücre uzaması ile ilgili genlerin transkripsiyon seviyelerini düşürerek sürgün uzunluğunu azaltmaktadır. (Zou vd., 2019; Wani vd., 2020). SL ve GA arasındaki iletişimi ortaya çıkarmak isteyen Toh vd. (2012), SL'lerin *Arabidopsis*'te tohum çimlenmesini düzenlemede GA ile sinerjik olarak hareket ettiğini göstermişlerdir. Başka bir çalışmada 10 mM GA<sub>3</sub> uygulaması pirinçte SL-biyosentez genlerinin ekspresyonunu 15, 30 ve 60 dakika süre ile azaltırken, daha düşük bir GA<sub>3</sub> konsantrasyonu (50 nM) SL-biyosentez genlerinin ekspresyonunu 24 saate kadar azaltmıştır (Marzec, 2017). Genel olarak, SL ve GA'nın gelişimdeki işlevleri büyük ölçüde zıttır (Rameau vd., 2019). SL sinyali, odunsu bitki *Jatropha curcas*'ta sürgün dallanmasının düzenlenmesinde GA sinyali ile uyumlu olmaktan ziyade antagonistik olarak etki etmektedir (Wallner vd., 2016).

### 5.6. Strigolakton-Brassinosteroid

SL ve brasinosteroid (BR) sinyal yolları arasındaki haberleşme son yıllarda keşfedilmesine rağmen bu iki hormon arasındaki ilişki henüz tam olarak ortaya çıkarılamamıştır. Foo vd., (2014) çalışmalarında bezelyede hem SL'lerin hem de BR'lerin nodül başlangıcı üzerinde olumlu bir etkiye sahip olduğunu göstermişlerdir ancak bunların nodülasyon üzerindeki etkilerini ortaya çıkartamamışlardır. *Arabidopsis*'te keşfedilen en önemli sinyal bileşenlerinden biri, yan sürgünlerin dallanmasını engelleyen MAX2'dir. Ekzojen SL uygulanması, MAX2 nin aracılık ettiği BR transkripsiyon faktörünün bozunmasını tetiklemiş ve sonuç olarak, sürgün dallanmasını inhibe etmiştir (Beveridge vd., 2010; Peres vd., 2019). Yapılan başka bir çalışmanın sonucunda SL ve BR sinyal yollarının pirinçte dallanmayı antagonistik olarak düzenlediği genetik ve moleküler mekanizmaları ile ortaya koymuşlardır (Wang vd., 2013; Faizan vd., 2020). Şimdiye kadar, SL ve BR sinyal yolu hakkında çok az veri elde edilmiştir. Bu yeni fitohormon sınıfının araştırmasındaki ilerlemeler, SL ve BR arasındaki hormonal iletişimi daha da netleştirecektir.

## 6. Strigolakton ve Önemli Bitki Büyüme Düzenleyicileri Arasındaki İlişki

### 6.1. Strigolakton-Jasmonik Asit

SL ve Jasmonik Asit (JA)'in birlikte yürüttüğü prosesler hakkında yeterli veri bulunmamakla birlikte her iki hormonun da mezokotil uzaması, yaşlanma, bitki mikroorganizma etkileşimleri gibi benzer gelişim süreçlerinde ortak yanıtla ortaya koyduğu gözlenmiştir (Omoarelojie vd., 2019). SL'lerin bitki savunma yanıtına nasıl dahil olduğunu araştıran Torres-Vera vd., (2014) domateste yıkıcı bir etkiye sahip yaprak mantar patojenlerinden *Botrytis cinerea* ve *Alternaria alternata*'ya karşı SL ve diğer bitki hormonlarının (SA, JA, ABA) birlikte uygulamalarının bitkilerin direnci ve duyarlılığını artırıp artırmadığını tespit etmek için yaptıkları çalışmada SL eksik mutant domates ve yabancı tipli domates fidelerinde (cv. Craigella), fosfor eksikliği oluşturulmuş ve yabancı tip bitki fidelerinin SL salgılamaları sağlanmış olup sonradan her iki gruba da iki patojen eklenmiştir. Savunma ile ilişkili hormonların jasmonik asit, salisilik asit ve absisik asit içeriğinde bir azalma tespit edilmiş, bu da hormon homeostazinin mutant bitkide değiştiğini göstermiştir. SL'in, özellikle jasmonik asit sinyal yolu ile diğer savunma ile ilgili hormonlarla etkileşimleri yoluyla bitki savunmalarının düzenlenmesinde rol

oynadığını belirtmişlerdir. Bidabadi ve Sharifi, (2020) *Dracocephalum kotschy* 'nin kuraklık toleransı ve uçucu yağ veriminde SL'in saptanmamış rolünü ve metil jasmonat (MeJA) ve SL arasındaki olası etkileşimini tespit etmek için yaptıkları çalışmalarında MeJA ve SL arasında kuraklık direncinin iyileştirilmesinde ve *D. kotschy* 'nin uçucu yağ üretiminin optimize edilmesinde önemli bir ilişki olduğunu ortaya koymuşlardır.

### 6.2. Strigolakton-Salisilik Asit

Fenolik bir bileşik olan salisilik asit (SA), tohum çimlenmesini, fide oluşumunu, hücre büyümesini, solunum, stoma kapanması, baklagillerde nodülasyonu ve meyve verimini etkiler (Hernández-Ruiz ve Arnao, 2018). SA patojenlere karşı savunmanın yanı sıra strese karşı bitkideki cevabı düzenleyen önemli bir sinyal molekülüdür (Singh ve Usha, 2003). Pek çok çalışma, SA'nın bitkilerde tuzluluk (Azooz vd., 2011), kuraklık (El Tayeb ve Ahmed, 2010), yüksek sıcaklık (Khan vd., 2013) ve ağır metal stresine karşı koruyucu etkilerini bildirmektedir (Chavoushi vd., 2019). SA ve SL üzerine yapılan çalışmalarda GR24 ekzojen uygulamaları SA birikimine neden olurken, SL yönünden eksik MAX2 mutantlarında SA konsantrasyonları düşmüştür, bu da SL'lerin SA üretimini indükleyerek bitki savunmalarına dahil olduğunu düşündürmektedir (Rozpadek vd., 2018; Omoarelojie vd., 2019; Wani vd., 2020). Buğdayda, SL ve SA'nın birlikte yapraktan uygulanması, kuraklık stresi sırasında daha düşük elektrolit sızıntısı, daha yüksek nispi yaprak su içeriği ve gelişmiş antioksidan enzim aktiviteleri ile sonuçlanmıştır (Sedaghat vd., 2017). Sedaghat vd., (2020) SL ve SA'nın ekzojen olarak spreyleme yöntemi ile uygulanmasının, buğday bitkilerinin stoma iletkenliği, fotosentez ve terleme hızının yanı sıra prolin ve çözümlü şeker içeriğini de artırdığını tespit etmişlerdir. SL ve SA'nın birlikte uygulandığı buğdayda kuraklığa toleransın arttığı gözlemlenmiştir, kuraklık stresinde SA ve SL arasında bir etkileşim olduğu görülmektedir.

### 6.3. Strigolakton-Karrikin

Karrikinler, çimlenmeyi teşvik etme ve fide oluşumunu geliştirme kapasitesine sahip küçük butenolid molekülleridir (Yao ve Waters, 2020). Karrikinler, orman yangınlarından sonra yanmış bitki örtüsünün dumanında bulunan oldukça aktif, tohum çimlenmesini sağlayan ve yeniden büyümeyi uyaran moleküllerdir (Nelson vd., 2011; Janssen ve Snowden, 2012; Akeel vd., 2019; Wani vd., 2020). Karrikinler SL'in sentez yolağından oluşmakla birlikte fizyolojik olarak farklı görevleri olan bitki büyüme düzenleyicileridir (Waters vd., 2012; Nasir vd., 2020). SL'ler bitki dokuları tarafından sentezlenir ve dokular arasında taşınır veya kök sızıntılarının bileşenleri olarak rizosfere sızar. Karrikinler ise bitki materyallerinin yanmasından kaynaklanan bitki duman bileşenidir (Omoarelojie vd., 2019). Li vd., (2020) *Arabidopsis*'te SL ve karrikin reseptörleri, D14 ve KAI2'nin, absisik asit cevabını, antosiyanin birikimini, stoma kapanmasını, hücre zarı bütünlüğünü ve kütikula oluşumunu ayarlayarak kuraklığa karşı direnci düzenlediğini bildirmişlerdir. Araştırmacılar reseptörlerin *Arabidopsis*'te kök gelişimi üzerine etkilerini bulmak için yaptıkları çalışmalarında KAI2 sinyal yolunun, kök eğriliğini, kök tüyü yoğunluğunu ve kök kıl uzunluğunu kontrol ettiğini ve D14 sinyal yolu ile birlikte yanal kök yoğunluğunu da düzenlediğini tespit etmişlerdir (Swarbreck vd., 2019; Villaécija-Aguilar vd., 2019; Yao ve Waters, 2020). Wang vd., (2018) tuzluluk veya ozmotik stres gibi abiyotik streslerin karrikinleri pozitif bir çimlenme düzenleyicisi olmaktan çıkarp bir inhibitör haline getirilebileceğini bildirmiştir.

Karrikinlerin yabani bitkilerin (Daws vd., 2007) ve tıbbi bitkilerin (MousaviNik vd., 2016) fide büyümesini artırmada olumlu bir rol oynayabileceği kanıtlanmıştır. Bu nedenle, nispeten yeni olan duman uygulama teknolojisi hem geleneksel hem de organik tarım açısından çimlenmede kullanılabilen bir tekniktir (Akeel vd., 2019).

## 7. Sonuç

Strigolaktonlar, başlangıçta canavar otu ve cadı otu diye bilinen parazit türlerin tohumlarının çimlenmesini sağlayarak parazitin konakçı bitkiye bağlanmasına sebep olan bileşenler olarak anılmalarına karşın, 2008 yılından itibaren özellikle strese karşı cevapta bitkideki önemli fizyolojik görevleri sebebi ile hormon sınıfında değerlendirilen terpen türevi bileşiklerdir. Bu derleme, SL'lerin bitki büyüme ve gelişim proseslerinde aldıkları roller hakkında bilgi sunmak amacı ile hazırlanmıştır. SL'ler, bitkide AM mantarları ile simbiyotik ilişkileri düzenler, parazitik ve parazitik olmayan tohumlarda tohum çimlenmesine ve baklagillerdeki nodül oluşumuna yardımcı olur, yan kök gelişimini artırırken sürgün gelişimini olumsuz etkiler ve yaprak yaşlanmasını teşvik ederler. Doğal SL'lerden daha basit bir yapıya sahip olmaları ve biyoaktivitelerini muhafaza etmeleri açısından tercih edilen sentetik SL GR24 ile yapılan uygulamalarda SL'lerin biyotik ve abiyotik strese karşı bitki toleransını ve verimini arttırdığı ortaya konmuştur. SL'ler streste dallanmayı engelleyerek aksillar meristem oluşumuna ve gelişimine etki etmektedir. SL'ler ve diğer bitki hormonları arasındaki etkileşimlerin ne kadar önemli olduğunu gösteren çeşitli araştırmalar yapılmış olmasına rağmen abiyotik ve biyotik stres karşısındaki rolleri hakkında moleküler, hücresel ve tüm bitki seviyesinde ayrıntılı çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır. SL biyosentezi ve sinyal yollarını içeren yeni çalışmalar umut verici olup araştırmalar arttıkça hormonun yapısı ve özellikleri ile ilgili daha detaylı bilgiler elde edilecektir. SL araştırmaları, sürdürülebilir tarımda canavar otu mücadelesinde de umut vaat etmektedir. Ekimden önceki dönemde uygulanan SL türevli kimyasallar parazit bitkilerin konakçı bitki olmadan çimlenip devamında ölmelerini sağlamaktadır. Son yıllarda SL üzerine yapılan araştırmalar stres üzerine yoğunlaşmış olup, yapılacak araştırmalar ile yüksek sıcaklık, kuraklık ve tuz stresi gibi veya besin eksikliği gibi olumsuz çevre koşullarına yanıtta SL türevlerinin pozitif yönde yardımcı olacağı ve bu sayede tarımsal verimdeki düşüşün azaltılmasına katkıda bulunacağı öngörülebilir.

## Kaynakça

Akeel, A., Khan, M. M. A., Jaleel, H., & Uddin, M. (2019). Smoke-saturated Water and Karrikinolide Modulate Germination, Growth, Photosynthesis and Nutritional Values of Carrot (*Daucus carota* L.). *Journal of Plant Growth Regulation*, 38(4), 1387-1401.

Akiyama, K., & Hayashi, H. (2006). Strigolactones: chemical signals for fungal symbionts and parasitic weeds in plant roots. *Annals of Botany*, 97(6), 925-931. doi:10.1093/aob/mcl063.

Agusti, J., Herold, S., Schwarz, M., Sanchez, P., Ljung, K., Dun, E. A., Brewer, P. B., Beveridge, C. A., Sieberer, T., Sehr, E. M., & Greb, T. (2011). Strigolactone signaling is required for auxin-dependent stimulation of secondary growth in plants. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(50), 20242-20247.

Aroca, R., Ruiz-Lozano, J. M., Zamarreño, Á. M., Paz, J. A., García-Mina, J. M., Pozo, M. J., & López-Ráez, J. A. (2013). Arbuscular mycorrhizal symbiosis influences strigolactone production under salinity and alleviates salt stress in lettuce plants. *Journal of Plant Physiology*, 170(1), 47-55.

Awad, A. A., Sato, D., Kusumoto, D., Kamioka, H., Takeuchi, Y., & Yoneyama, K. (2006). Characterization of strigolactones, germination stimulants for the root parasitic plants *Striga* and *Orobanche*, produced by maize, millet and sorghum. *Plant Growth Regulation*, 48(3), 221.

Azooz, M. M., Youssef, A. M., & Ahmad, P. (2011). Evaluation of salicylic acid (SA) application on growth, osmotic solutes and antioxidant enzyme activities on broad bean seedlings grown under diluted seawater. *International Journal of Plant Physiology and Biochemistry*, 3(14), 253-264.

Banerjee, A., & Roychoudhury, A. (2018). Strigolactones: multi-level regulation of biosynthesis and diverse responses in plant abiotic stresses. *Acta Physiologiae Plantarum*, 40(5), 1-10.

Bartoli, C. G., Casalongué, C. A., Simontacchi, M., Marquez-Garcia, B., & Foyer, C. H. (2013). Interactions between hormone and redox signalling pathways in the control of growth and cross tolerance to stress. *Environmental and Experimental Botany*, 94, 73-88.

Bensmihen, S. (2015). Hormonal control of lateral root and nodule development in legumes. *Plants*, 4(3), 523-547.

Beveridge, C. A., & Kyojuka, J. (2010). New genes in the strigolactone-related shoot branching pathway. *Current Opinion in Plant Biology*, 13(1), 34-39.

Bhatt, M. D., & Bhatt, D. (2020). Strigolactones in Overcoming Environmental Stresses. Protective Chemical Agents in the Amelioration of Plant Abiotic Stress: *Biochemical and Molecular Perspectives*, 327.

Bidabadi, S. S., & Sharifi, P. (2020). Strigolactone and Methyl Jasmonate-Induced Antioxidant Defense and the Composition Alterations of Different Active Compounds in *Dracocephalum kotschy* Boiss Under Drought Stress. *Journal of Plant Growth Regulation*.

Borghi, L., Liu, G. W., Emonet, A., Kretzschmar, T., & Martinoia, E. (2016). The importance of strigolactone transport regulation for symbiotic signaling and shoot branching. *Planta*, 243(6), 1351-1360.

Bouwmeester, H. J., Fonne-Pfister, R., Screpanti, C., & De Mesmaeker, A. (2019). Strigolactones: plant hormones with promising features. *Angewandte Chemie International Edition*, 58(37), 12778-12786.

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(1), 482-493.

Brewer, P. B., Koltai, H., & Beveridge, C. A. (2013). Diverse roles of strigolactones in plant development. *Molecular Plant*, 6(1), 18-28.

Butler, L. G., in *Insights into Allelopathy*, ACS Symposium Series (Eds.: K. Inderjit, F. A. Einhellig), ACS Books, Washington, 1995, pp. 158-168.

Bürger, M., & Chory, J. (2020). The many models of strigolactone signaling. *Trends in Plant Science*, 25(4), 395-405.

Cardinale, F., Korwin Krukowski, P., Schubert, A., & Visentin, I. (2018). Strigolactones: mediators of osmotic stress responses with a potential for agrochemical manipulation of crop resilience. *Journal of Experimental Botany*, 69(9), 2291-2303.

- Ćavar, S., Zwanenburg, B., & Tarkowski, P. (2015). Strigolactones: occurrence, structure, and biological activity in the rhizosphere. *Phytochemistry Reviews*, 14(4), 691-711.
- Charnikhova, T. V., Gaus, K., Lumbroso, A., Sanders, M., Vincken, J. P., De Mesmaeker, A., Ruyter-Spira, C. P., Screpanti, C., & Bouwmeester, H. J. (2017). Zealactones. Novel natural strigolactones from maize. *Phytochemistry*, 137, 123-131.
- Charnikhova, T. V., Gaus, K., Lumbroso, A., Sanders, M., Vincken, J. P., De Mesmaeker, A., & Bouwmeester, H. J. (2018). Zeapyranolactone— A novel strigolactone from maize. *Phytochemistry Letters*, 24, 172-178.
- Chavoushi, M., Najafi, F., Salimi, A., & Angaji, S. A. (2019). Improvement in drought stress tolerance of safflower during vegetative growth by exogenous application of salicylic acid and sodium nitroprusside. *Industrial Crops and Products*, 134, 168-176.
- Cheng, X., Ruyter-Spira, C., & Bouwmeester, H. (2013). The interaction between strigolactones and other plant hormones in the regulation of plant development. *Frontiers in Plant Science*, 4, 199.
- Cook, C. E., Whichard, L. P., Turner, B., Wall, M. E., & Egley, G. H. (1966). Germination of witchweed (*Striga lutea* Lour.): isolation and properties of a potent stimulant. *Science*, 154(3753), 1189-1190.
- Cook CE, Whichard LP, Wall ME, Egley GH, Coggon P, Luhan PA, McPhail AT (1972) *J Am Chem Soc* 94:6198–6199.
- Crawford, S., Shinohara, N., Sieberer, T., Williamson, L., George, G., Hepworth, J., Müller, D., Domagalska, M., A. & Leyser, O. (2010). Strigolactones enhance competition between shoot branches by dampening auxin transport. *Development*, 137(17), 2905-2913.
- Daws, M. I., Davies, J., Pritchard, H. W., Brown, N. A., & Van Staden, J. (2007). Butenolide from plant-derived smoke enhances germination and seedling growth of arable weed species. *Plant Growth Regulation*, 51(1), 73-82.
- De Saint Germain, A., Ligerot, Y., Dun, E. A., Pillot, J. P., Ross, J. J., Beveridge, C. A., & Rameau, C. (2013). Strigolactones stimulate internode elongation independently of gibberellins. *Plant Physiology*, 163(2), 1012-1025.
- Du, H., Huang, F., Wu, N., Li, X., Hu, H., & Xiong, L. (2018). Integrative regulation of drought escape through ABA-dependent and-independent pathways in rice. *Molecular Plant*, 11(4), 584- 597.
- Dun, E. A., Brewer, P. B., & Beveridge, C. A. (2009). Strigolactones: discovery of the elusive shoot branching hormone. *Trends in Plant Science*, 14(7), 364-372.
- Dun, E. A., de Saint Germain, A., Rameau, C., & Beveridge, C. A. (2012). Antagonistic action of strigolactone and cytokinin in bud outgrowth control. *Plant Physiology*, 158(1), 487-498.
- El Tayeb, M. A., & Ahmed, N. L. (2010). Response of wheat cultivars to drought and salicylic acid. *American-Eurasian Journal of Agronomy*, 3(1), 1-7.
- Emamverdian, A., Ding, Y., & Xie, Y. (2020). The Role of New Members of Phytohormones in Plant Amelioration under Abiotic Stress with an Emphasis on Heavy Metals. *Polish Journal of Environmental Studies*, 29(2).
- Faizan, M., Faraz, A., Sami, F., Siddiqui, H., Yusuf, M., Gruszka, D., & Hayat, S. (2020). Role of strigolactones: Signalling and crosstalk with other phytohormones. *Open Life Sciences*, 15(1), 217-228.
- Ferguson, B. J., & Beveridge, C. A. (2009). Roles for auxin, cytokinin, and strigolactone in regulating shoot branching. *Plant Physiology*, 149(4), 1929-1944.
- Ferrero, M., Pagliarani, C., Novák, O., Ferrandino, A., Cardinale, F., Visentin, I., & Schubert, A. (2018). Exogenous strigolactone interacts with abscisic acid-mediated accumulation of anthocyanins in grapevine berries. *Journal of Experimental Botany*, 69(9), 2391-2401.
- Foo, E., Yoneyama, K., Hugill, C., Quittenden, L. J., & Reid, J. B. (2013). Strigolactones: internal and external signals in plant symbioses?. *Plant Signaling & Behavior*, 8(3), e23168.
- Foo, E., Ferguson, B. J., & Reid, J. B. (2014). The potential roles of strigolactones and brassinosteroids in the autoregulation of nodulation pathway. *Annals of Botany*, 113(6), 1037-1045.
- Gomez-Roldan, V., Roux, C., Girard, D., Bécard, G., & Puech, V. (2007). Strigolactones: promising plant signals. *Plant Signaling & Behavior*, 2(3), 163-164.
- Gomez-Roldan, V., Fermas, S., Brewer, P. B., Puech-Pagès, V., Dun, E. A., Pillot, J. P., Letisse, F., Matusova, R., Danoun, S., Portairs, J. C., Bouwmeester, H., Becard, G., Beveridge, C., A., Rameau C., & Rochange, S. F. (2008). Strigolactone inhibition of shoot branching. *Nature*, 455(7210), 189-194.
- Haider, I., Andreo-Jimenez, B., Bruno, M., Bimbo, A., Floková, K., Abuauf, H., ... & Bouwmeester, H. J. (2018). The interaction of strigolactones with abscisic acid during the drought response in rice. *Journal of Experimental Botany*, 69(9), 2403-2414.
- Hernández-Ruiz, J., & Arnao, M. B. (2018). Relationship of melatonin and salicylic acid in biotic/abiotic plant stress responses. *Agronomy*, 8(4), 33.
- Ito, S., Umehara, M., Hanada, A., Yamaguchi, S., & Asami, T. (2013). Effects of strigolactone biosynthesis inhibitor TIS108 on Arabidopsis. *Plant Signaling & Behavior*, 8(5), e24193.
- Ito, S., Nozoye, T., Sasaki, E., Imai, M., Shiwa, Y., Shibata-Hatta, M., Ishige, T., Fukui, K., Ito, K., Nakanishi, H., Nishizawa, N. K., Yajima, S., & Asami, T. (2015). Strigolactone regulates anthocyanin accumulation, acid phosphatases production and plant growth under low phosphate condition in Arabidopsis. *PLoS One*, 10(3), e0119724.
- Ioio, R. D., Nakamura, K., Moubayidin, L., Perilli, S., Taniguchi, M., Morita, M. T., Aoyama, T., Costantino, P., & Sabatini, S. (2008). A genetic framework for the control of cell division and differentiation in the root meristem. *Science*, 322(5906), 1380-1384.
- Janssen, B. J., & Snowden, K. C. (2012). Strigolactone and lrrrikin signal perception: receptors, enzymes, or both?. *Frontiers in Plant Science*, 3, 296.
- Jamil, M., Van Mourik, T. A., Charnikhova, T., & Bouwmeester, H. J. (2013). Effect of diammonium phosphate application on strigolactone production and *Striga hermonthica* infection in three sorghum cultivars. *Weed Research*, 53(2), 121-130.
- Jia, K. P., Luo, Q., He, S. B., Lu, X. D., & Yang, H. Q. (2014). Strigolactone-regulated hypocotyl elongation is dependent on cryptochrome and phytochrome signaling pathways in Arabidopsis. *Molecular Plant*, 7(3), 528-540.
- Jia, K. P., Li, C., Bouwmeester, H. J., & Al-Babili, S. (2019). Strigolactone biosynthesis and signal transduction. In *Strigolactones—Biology and Applications* pp 1-45.
- Jiang, L., Matthys, C., Marquez-Garcia, B., De Cuyper, C., Smet, L., De Keyser, A., Boyer, F. D., Beeckman, T., Stephen, D., & Goormachtig, S. (2016). Strigolactones spatially influence lateral root development through the cytokinin

- signaling network. *Journal of Experimental Botany*, 67(1), 379-389.
- Joshi, N., Nautiyal, P., & Papnai, G. (2019). Unravelling diverse roles of strigolactones in stimulating plant growth and alleviating various stress conditions: A review. *J Pharmaco Phytochem*, 8(5), 396-404.
- Kapulnik, Y., Resnick, N., Mayzlish-Gati, E., Kaplan, Y., Wininger, S., Hershenhorn, J., & Koltai, H. (2011). Strigolactones interact with ethylene and auxin in regulating root-hair elongation in Arabidopsis. *Journal of Experimental Botany*, 62(8), 2915-2924.
- Kapulnik, Y., & Koltai, H. (2014). Strigolactone involvement in root development, response to abiotic stress, and interactions with the biotic soil environment. *Plant Physiology*, 166(2), 560-569.
- Khan, M. I. R., Iqbal, N., Masood, A., Per, T. S., & Khan, N. A. (2013). Salicylic acid alleviates adverse effects of heat stress on photosynthesis through changes in proline production and ethylene formation. *Plant Signaling & Behavior*, 8(11), e26374.
- Kim, H. I., Kisugi, T., Khetkam, P., Xie, X., Yoneyama, K., Uchida, K., Uchida, K., Yokota, T., Nomura, T., McErlean, C. S. P., & Yoneyama, K. (2014). Avenaol, a germination stimulant for root parasitic plants from *Avena strigosa*. *Phytochemistry*, 103, 85-88.
- Koltai, H. (2013). Strigolactones activate different hormonal pathways for regulation of root development in response to phosphate growth conditions. *Annals of Botany*, 112(2), 409-415.
- Koltai, H. (2015). Cellular events of strigolactone signalling and their crosstalk with auxin in roots. *Journal of Experimental Botany*, 66(16), 4855-4861.
- Koltai, H., Dor, E., Hershenhorn, J., Joel, D. M., Weininger, S., Lekalla, S., Shealtiel H., Bhattacharya, C., Eliahu, E., Resnick, N., Barg, R., & Kapulnik, Y. (2010). Strigolactones' effect on root growth and root-hair elongation may be mediated by auxin-efflux carriers. *Journal of Plant Growth Regulation*, 29(2), 129-136.
- Koltai, H., & Beveridge, C. A. (2013). Strigolactones and the coordinated development of shoot and root. In Long-Distance Systemic Signaling and Communication in Plants (pp. 189-204). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Koltai, H., & Kapulnik, Y. (2011). Strigolactones as mediators of plant growth responses to environmental conditions. *Plant Signaling & Behavior*, 6(1), 37-41.
- Koren, D., Resnick, N., Gati, E. M., Belausov, E., Weininger, S., Kapulnik, Y., & Koltai, H. (2013). Strigolactone signaling in the endodermis is sufficient to restore root responses and involves SHORT HYPOCOTYL 2 (SHY2) activity. *New Phytologist*, 198(3), 866-874.
- Lechat, M. M., Brun, G., Montiel, G., Véronési, C., Simier, P., Thoirion, S., Pouvreau, J., B., & Delavault, P. (2015). Seed response to strigolactone is controlled by abscisic acid-independent DNA methylation in the obligate root parasitic plant, *Phelipanche ramosa* L. Pomel. *Journal of Experimental Botany*, 66(11), 3129-3140.
- Li, W., Gupta, A., Tian, H., Nguyen, K. H., Tran, C. D., Watanabe, Y., Tian, C., Li, K., Yang, Y., Guo, J., Luo, Y., Miao, Y., & Phan Tran, L. S. (2020). Different strategies of strigolactone and karrikin signals in regulating the resistance of Arabidopsis thaliana to water-deficit stress. *Plant Signaling & Behavior*, 15(9), 1789321.
- Lopez-Obando, M., Ligerot, Y., Bonhomme, S., Boyer, F. D., & Rameau, C. (2015). Strigolactone biosynthesis and signaling in plant development. *Development*, 142(21), 3615-3619.
- López-Ráez, J. A., Kohlen, W., Charnikhova, T., Mulder, P., Undas, A. K., Sergeant, M. J., Verstappen, F., Bugg, T., D., H., Thompson, A. J., Ruyter-Spira, C., & Bouwmeester, H. (2010). Does abscisic acid affect strigolactone biosynthesis?. *New Phytologist*, 187(2), 343-354.
- Manandhar, S., Funnell, K. A., Woolley, D. J., & Cooney, J. M. (2018). Interaction between strigolactone and cytokinin on axillary and adventitious bud development in *Zantedeschia*. *J Plant Physiol Pathol* 6, 1, 2.
- Marzec, M. (2016a). Perception and signaling of strigolactones. *Frontiers in Plant Science*, 7, 1260.
- Marzec, M. (2016b). Strigolactones as part of the plant defence system. *Trends Plant Sci*. 16, 30121–30122. doi: 10.1016/j.tplants.2016.08.010
- Marzec, M. (2017). Strigolactones and gibberellins: a new couple in the phytohormone world?. *Trends in Plant Science*, 22(10), 813-815.
- Mashiguchi, K., Sasaki, E., Shimada, Y., Nagae, M., Ueno, K., Nakano, T., Nakano, T., Yoneyama, K., Suzuki, Y., & Asami, T. (2009). Feedback-regulation of strigolactone biosynthetic genes and strigolactone-regulated genes in Arabidopsis. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 73(11), 2460-2465.
- Matusova, R., Rani, K., Verstappen, F. W., Franssen, M. C., Beale, M. H., & Bouwmeester, H. J. (2005). The strigolactone germination stimulants of the plant-parasitic *Striga* and *Orobanche* spp. are derived from the carotenoid pathway. *Plant Physiology*, 139(2), 920-934.
- Min, Z., Li, R., Chen, L., Zhang, Y., Li, Z., Liu, M., Ju, Y., & Fang, Y. (2019). Alleviation of drought stress in grapevine by foliar-applied strigolactones. *Plant Physiology and Biochemistry*, 135, 99-110.
- Mishra, S., Upadhyay, S., & Shukla, R. K. (2017). The role of strigolactones and their potential cross-talk under hostile ecological conditions in plants. *Frontiers in Physiology*, 7, 691.
- Mori, K., Matsui, J., Yokota, T., Sakai, H., Bando, M., & Takeuchi, Y. (1999). Structure and synthesis of orobanchol, the germination stimulant for *Orobanche minor*. *Tetrahedron Letters*, 40(5), 943-946.
- Mostofa, M. G., Li, W., Nguyen, K. H., Fujita, M., & Tran, L. S. P. (2018). Strigolactones in plant adaptation to abiotic stresses: An emerging avenue of plant research. *Plant, Cell & Environment*, 41(10), 2227-2243.
- MousaviNik, M., Jowkar, A., & RahimianBoogar, A. (2016). Positive effects of karrikin on seed germination of three medicinal herbs under drought stress. *Iran Agricultural Research*, 35(2), 57-64.
- Nakamura, H., & Asami, T. (2014). Target sites for chemical regulation of strigolactone signaling. *Frontiers in Plant Science*, 5, 623.
- Nasir, F., Tian, L., Shi, S., Chang, C., Ma, L., Gao, Y., & Tian, C. (2019). Strigolactones positively regulate defense against *Magnaporthe oryzae* in rice (*Oryza sativa*). *Plant Physiology and Biochemistry*, 142, 106-116.
- Nasir, F., Li, W., Tran, L. S. P., & Tian, C. (2020). Does Karrikin Signaling Shape the Rhizomicrobiome via the Strigolactone Biosynthetic Pathway?. *Trends in Plant Science*, 25(12), 1184-1187.

- Nelson, D. C., Scaffidi, A., Dun, E. A., Waters, M. T., Flematti, G. R., Dixon, K. W., Beveridge, C. A., Ghisalberti, E. L. & Smith, S. M. (2011). F-box protein MAX2 has dual roles in karrikin and strigolactone signaling in *Arabidopsis thaliana*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(21), 8897-8902.
- Omoarelojie, L. O., Kulkarni, M. G., Finnie, J. F., & Van Staden, J. (2019). Strigolactones and their crosstalk with other phytohormones. *Annals of Botany*, 124(5), 749-767.
- ÖzBILEN, A. (2019). Zeytinde (*Olea europaea* L.) Strigolakton Biyosentezinde Rol Alan Genlerin Karakterizasyonu. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 203 sayfa, Çanakkale.
- ÖZEL, Ş. G. (2018). Strigolakton Uygulamasıyla Tuz Stresine Karşı Kum Zambağı Bitkisinin Toleransının Arttırılmasında Antioksidan Enzimlerin İşlevi. Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 104 sayfa, Tekirdağ.
- Peres, A. L. G., Soares, J. S., Tavares, R. G., Righetto, G., Zullo, M. A., Mandava, N. B., & Menossi, M. (2019). Brassinosteroids, the sixth class of phytohormones: a molecular view from the discovery to hormonal interactions in plant development and stress adaptation. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(2), 331.
- Pozo, M. J., López-Ráez, J. A., Azcón-Aguilar, C., & García-Garrido, J. M. (2015). Phytohormones as integrators of environmental signals in the regulation of mycorrhizal symbioses. *New Phytologist*, 205(4), 1431-1436.
- Rameau, C., Goormachtig, S., Cardinale, F., Bennett, T., & Cubas, P. (2019). Strigolactones as plant hormones. In *Strigolactones-Biology and Applications*, pp. 47-87.
- Rasmussen, A., Hu, Y., Depaepe, T., Vandebussche, F., Boyer, F. D., Van Der Straeten, D., & Geelen, D. (2017). Ethylene controls adventitious root initiation sites in *Arabidopsis* hypocotyls independently of strigolactones. *Journal of Plant Growth Regulation*, 36(4), 897- 911.
- Ren, C. G., Kong, C. C., & Xie, Z. H. (2018). Role of abscisic acid in strigolactone-induced salt stress tolerance in arbuscular mycorrhizal *Sesbania cannabina* seedlings. *BMC Plant Biology*, 18(1), 1-10.
- Rozpádek, P., Domka, A. M., Nosek, M., Ważny, R., Jędrzejczyk, R. J., Wiciarz, M., & Turnau, K. (2018). The role of strigolactone in the cross-talk between *Arabidopsis thaliana* and the endophytic fungus *Mucor* sp. *Frontiers in Microbiology*, 9, 441.
- 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 Physiology*, 155(2), 721-734.
- Scaffidi, A., Waters, M. T., Ghisalberti, E. L., Dixon, K. W., Flematti, G. R., & Smith, S. M. (2013). Carlactone-independent seedling morphogenesis in *Arabidopsis*. *The Plant Journal*, 76(1), 1-9.
- Scaffidi, A., Waters, M. T., Sun, Y. K., Skelton, B. W., Dixon, K. W., Ghisalberti, E. L., Flematti, G. R., & Smith, S. M. (2014). Strigolactone hormones and their stereoisomers signal through two related receptor proteins to induce different physiological responses in *Arabidopsis*. *Plant Physiology*, 165(3), 1221-1232.
- Sedaghat, M., Tahmasebi-Sarvestani, Z., Emam, Y., & Mokhtassi-Bidgoli, A. (2017). Physiological and antioxidant responses of winter wheat cultivars to strigolactone and salicylic acid in drought. *Plant Physiology and Biochemistry*, 119, 59-69.
- Sedaghat, M., Sarvestani, Z. T., Emam, Y., Bidgoli, A. M., & Sorooshzadeh, A. (2020). Foliar- Applied GR24 and Salicylic Acid Enhanced Wheat Drought Tolerance. *Russian Journal of Plant Physiology*, 67(4), 733-739.
- Seto, Y., Kameoka, H., Yamaguchi, S., & Kyojuka, J. (2012). Recent advances in strigolactone research: chemical and biological aspects. *Plant and Cell Physiology*, 53(11), 1843-1853.
- Singh, B., & Usha, K. (2003). Salicylic acid induced physiological and biochemical changes in wheat seedlings under water stress. *Plant Growth Regulation*, 39(2), 137-141.
- Smith, S. M. (2014). Q&A: What are strigolactones and why are they important to plants and soil microbes?. *BMC Biology*, 12(1), 1-7.
- Steinkellner, S., Lenzemo, V., Langer, I., Schweiger, P., Khaosaad, T., Toussaint, J. P., & Vierheilig, H. (2007). Flavonoids and strigolactones in root exudates as signals in symbiotic and pathogenic plant-fungus interactions. *Molecules*, 12(7), 1290-1306.
- Sugimoto, Y., Ali, A. M., Yabuta, S., Kinoshita, H., Inanaga, S., & Itai, A. (2003). Germination strategy of *Striga hermonthica* involves regulation of ethylene biosynthesis. *Physiologia Plantarum*, 119(1), 137-145.
- Sun, H., Tao, J., Liu, S., Huang, S., Chen, S., Xie, X., Yoneyama, K., Zhang, Y., & Xu, G. (2014). Strigolactones are involved in phosphate-and nitrate-deficiency-induced root development and auxin transport in rice. *Journal of Experimental Botany*, 65(22), 6735-6746.
- Swarbreck, S. M., Guerringue, Y., Matthus, E., Jamieson, F. J., & Davies, J. M. (2019). Impairment in karrikin but not strigolactone sensing enhances root skewing in *Arabidopsis thaliana*. *The Plant Journal*, 98(4), 607-621.
- Toh, S., Kamiya, Y., Kawakami, N., Nambara, E., McCourt, P., & Tsuchiya, Y. (2012). Thermoinhibition uncovers a role for strigolactones in *Arabidopsis* seed germination. *Plant and Cell Physiology*, 53(1), 107-117.
- Torres-Vera, R., García, J. M., Pozo, M. J., & López-Ráez, J. A. (2014). Do strigolactones contribute to plant defence?. *Molecular Plant Pathology*, 15(2), 211-216. doi: 10.1111/mpp.12074.
- Tsuchiya, Y., Vidaurre, D., Toh, S., Hanada, A., Nambara, E., Kamiya, Y., Yamaguchi, S., & McCourt, P. (2010). A small-molecule screen identifies new functions for the plant hormone strigolactone. *Nature Chemical Biology*, 6(10), 741-749. doi: 10.1038/nchembio.435
- Ueda, H., & Kusaba, M. (2015). Strigolactone regulates leaf senescence in concert with ethylene in *Arabidopsis*. *Plant Physiology*, 169(1), 138-147.
- Ueno, K., Furumoto, T., Umeda, S., Mizutani, M., Takikawa, H., Batchvarova, R., & Sugimoto, Y. (2014). Heliolactone, a non-sesquiterpene lactone germination stimulant for root parasitic weeds from sunflower. *Phytochemistry*, 108, 122-128.
- 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 Cell Physiol.* 51(7): 1118–1126.
- Umehara, M., Cao, M., Akiyama, K., Akatsu, T., Seto, Y., Hanada, A., Li, W., Takeda-Kamiya, N., Morimoto Y., & Yamaguchi,

- S. (2015). Structural requirements of strigolactones for shoot branching inhibition in rice and Arabidopsis. *Plant and Cell Physiology*, 56(6), 1059-1072.
- Van Ha, C., Leyva-González, M. A., Osakabe, Y., Tran, U. T., Nishiyama, R., Watanabe, Y., Tanaka, M., Seki, M., Yamaguchi, S., Dong, N. V., Yamaguchi-Shinozaki, K., Shinozaki, K., Herrera-Estrella, L., & Tran, L. S. P. (2014). Positive regulatory role of strigolactone in plant responses to drought and salt stress. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(2), 851-856.
- Vaucher JP. 1823. M'emoire sur la germination des orobanches. M'em. Mus. Hist. Nat. Paris 10:261-73.
- Villaécija-Aguilar, J. A., Hamon-Josse, M., Carbonnel, S., Kretschmar, A., Schmid, C., Dawid, C., Bennett, T., & Gutjahr, C. (2019). SMAX1/SMXL2 regulate root and root hair development downstream of KAI2-mediated signalling in Arabidopsis. *PLoS Genetics*, 15(8), e1008327.
- Visentin, I., Vitali, M., Ferrero, M., Zhang, Y., Ruyter-Spira, C., Novák, O., Strnad, M., Lovisolo, C., Schubert, A., & 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.
- Vurro, M., Prandi, C., & Baroccio, F. (2016). Strigolactones: how far is their commercial use for agricultural purposes?. *Pest Management Science*, 72(11), 2026-2034.
- Wallner, E. S., López-Salmerón, V., & Greb, T. (2016). Strigolactone versus gibberellin signaling: reemerging concepts?. *Planta*, 243(6), 1339-1350.
- Wani, K. I., Zehra, A., Choudhary, S., Naeem, M., Khan, M. M. A., Castroverde, C. D. M., & Aftab, T. (2020). Mechanistic Insights into Strigolactone Biosynthesis, Signaling, and Regulation During Plant Growth and Development. *Journal of Plant Growth Regulation*, 1-17.
- Wang, Q., Zhu, Z., Ozkardesh, K., & Lin, C. (2013). Phytochromes and phytohormones: the shrinking degree of separation. *Molecular Plant*, 6(1), 5-7.
- Wang, L., Waters, M. T., & Smith, S. M. (2018). Karrikin-KAI2 signalling provides Arabidopsis seeds with tolerance to abiotic stress and inhibits germination under conditions unfavourable to seedling establishment. *New Phytologist*, 219(2), 605-618.
- Waters, M. T., Nelson, D. C., Scaffidi, A., Flematti, G. R., Sun, Y. K., Dixon, K. W., & Smith, S. M. (2012). Specialisation within the DWARF14 protein family confers distinct responses to karrikins and strigolactones in Arabidopsis. *Development*, 139(7), 1285-1295.
- Xie, X., Yoneyama, K., Kusumoto, D., Yamada, Y., Takeuchi, Y., Sugimoto, Y., & Yoneyama, K. (2008). Sorghomol, germination stimulant for root parasitic plants, produced by *Sorghum bicolor*. *Tetrahedron Letters*, 49(13), 2066-2068.
- Xie, X., Yoneyama, K., & Yoneyama, K. (2010). The Strigolactone Story. *Annual Review of Phytopathology*, 48(1), 93-117. doi:10.1146/annurev-phyto-073009-114453
- Xie, X., Kisugi, T., Yoneyama, K., Nomura, T., Akiyama, K., Uchida, K., Yokota, T., McErlean, C. S. P., & Yoneyama, K. (2017). Methyl zealactonoate, a novel germination stimulant for root parasitic weeds produced by maize. *Journal of Pesticide Science*, 42(2), 58-61.
- Xie, X., Mori, N., Yoneyama, K., Nomura, T., Uchida, K., Yoneyama, K., & Akiyama, K. (2019). Lotuslactone, a non-canonical strigolactone from *Lotus japonicus*. *Phytochemistry*, 157, 200-205.
- Yamada, Y., Furusawa, S., Nagasaka, S., Shimomura, K., Yamaguchi, S., & Umehara, M. (2014). Strigolactone signaling regulates rice leaf senescence in response to a phosphate deficiency. *Planta*, 240(2), 399-408.
- Yamada, Y., & Umehara, M. (2015). Possible roles of strigolactones during leaf senescence. *Plants*, 4(3), 664-677.
- Yao, J., & Waters, M. T. (2020). Perception of karrikins by plants: a continuing enigma. *Journal of Experimental Botany*, 71(6), 1774-1781.
- Yasui, M., Ota, R., Tsukano, C., & Takemoto, Y. (2017). Total synthesis of avenaol. *Nature Communications*, 8(1), 1-9.
- Yoneyama, K., Xie, X., Sekimoto, H., Takeuchi, Y., Ogasawara, S., Akiyama, K., Hayashi, H., & Yoneyama, K. (2008). Strigolactones, host recognition signals for root parasitic plants and arbuscular mycorrhizal fungi, from Fabaceae plants. *New Phytologist*, 179(2), 484-494.
- Yoneyama, K., Awad, A. A., Xie, X., Yoneyama, K., & Takeuchi, Y. (2010). Strigolactones as germination stimulants for root parasitic plants. *Plant and Cell Physiology*, 51(7), 1095-1103.
- Yoneyama, K., Arakawa, R., Ishimoto, K., Kim, H. I., Kisugi, T., Xie, X., Nomura, T., Kanampiu, F., Yokota, T., Ezawa, T., & Yoneyama, K. (2015). Difference in striga-susceptibility is reflected in strigolactone secretion profile, but not in compatibility and host preference in arbuscular mycorrhizal symbiosis in two maize cultivars. *New Phytologist*, 206(3), 983-989.
- Yoneyama, K., Xie, X., Yoneyama, K., Kisugi, T., Nomura, T., Nakatani, Y., Akiyama, K., & McErlean, C. S. (2018). Which are the major players, canonical or non-canonical strigolactones?. *Journal of Experimental Botany*, 69(9), 2231-2239.
- Yoneyama, K., Xie, X., Yoneyama, K., Nomura, T., Takahashi, I., Asami, T., Mori, N., Akiyama, K., Kusajima, M., & Nakashita, H. (2019). Regulation of biosynthesis, perception, and functions of strigolactones for promoting arbuscular mycorrhizal symbiosis and managing root parasitic weeds. *Pest Management Science*, 75(9), 2353-2359.
- Yu, Y., Wang, J., Zhang, Z., Quan, R., Zhang, H., Deng, X. W., Ma, L., & Huang, R. (2013). Ethylene promotes hypocotyl growth and HY5 degradation by enhancing the movement of COP1 to the nucleus in the light. *PLoS Genet*, 9(12), e1004025.
- Zhang, Y., Haider, I., Ruyter-Spira, C., & Bouwmeester, H. J. (2013). Strigolactone biosynthesis and biology. *Molecular Microbial Ecology of the Rhizosphere*, 1, 355-371.
- Zou, X., Wang, Q., Chen, P., Yin, C., & Lin, Y. (2019). Strigolactones regulate shoot elongation by mediating gibberellin metabolism and signaling in rice (*Oryza sativa* L.). *Journal of Plant Physiology*, 237, 72-79.
- Zwanenburg, B., & Pospíšil, T. (2013). Structure and activity of strigolactones: new plant hormones with a rich future. *Molecular Plant*, 6(1), 38-62.
- Zwanenburg, B., Čavar Zeljković, S., & Pospíšil, T. (2016 a). Synthesis of strigolactones, a strategic account. *Pest Management Science*, 72(1), 15-29.
- Zwanenburg, B., Mwakaboko, A. S., & Kannan, C. (2016 b). Suicidal germination for parasitic weed control. *Pest Management Science*, 72(11), 2016-2025.
- Zwanenburg, B., & Blanco-Ania, D. (2018). Strigolactones: new plant hormones in the spotlight. *Journal of Experimental Botany*, 69(9), 2205-2218.



# Aprondaki Uçak Bakımının İş Sağlığı ve Güvenliği Açısından Genel Olarak İncelenmesi

Mukadder Igdi Şen<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> Trakya Üniversitesi, Edirne Teknik Bilimler MYO., Uçak Teknolojisi Programı, Edirne, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-0760-1752), [mukaddersen@trakya.edu.tr](mailto:mukaddersen@trakya.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 16 Haziran 2021 ve Kabul Tarihi 6 Ekim 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.953128)

**ATIF/REFERENCE:** Igdi-Sen, M. (2021). Apron Üzerindeki Uçak Bakımının İş Sağlığı ve Güvenliği Açısından İncelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (27), 747-754.

## Öz

Uçakta seyahat eden kişilerin önce can güvenliğinin sağlanması etik olarak ilk kuraldır. Bu nedenle uçak kazalarının bir kısmını oluşturduğu tespit edilen hat bakım, bütün yerli ve yabancı havayollarının bakım bölümleri ve uçak bakım kuruluşları tarafından yeterli sayıda çalışanla birlikte dikkatle gerçekleştirilmelidir. Bu çalışma, apronda uçak bakımı yapan kişi ya da kuruluşların konuya dikkatlerini çekmek ve onları bilgilendirmek için hazırlanmıştır. Bu amaçla, aprondaki uçak hat bakım faaliyetleri ve bu faaliyetleri gerçekleştiren çalışanların karşılaşabileceği olası riskler genel kapsamda incelenmiştir. Ayrıca alınması gereken önlemler açıklanarak, insan faktörlerinin de sürece etkileri ifade edilmiştir. Çalışmada, 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu (6331) ve Onaylı Hava Aracı Bakım Kuruluşları Talimatı'na (SHT-145) göre literatürdeki konu ile ilgili çalışmalar değerlendirmiş ve bu çalışmalar ışığında, dikkat edilmesi gereken durumlar ve koşullar belirtilmiştir. 6331'e göre "tehlikeli sınıf"a giren uçak bakım çalışmaları, aprondaki çalışmalar dahil, risk ve tehlikeyi ortadan kaldırmak için İşveren yönetiminde gerekli önlemler alınarak gerçekleştirilmelidir. Ulusal ve uluslararası havacılık resmi kurumlarınca yapılan düzenlemeler kapsamında, İşverenin ve Devlet Hava Meydanları İşletmesi Genel Müdürlüğü'nün belirlediği ve yapılmasını zorunlu kıldığı tüm kurallara, havacılık çalışanları harfiyen uymalıdır.

**Anahtar Kelimeler:** Uçak, Apron, Hat Bakım, 6331 Sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu, FOD, Kaza.

## General Investigation of Aircraft Maintenance on the Apron in terms of Occupational Health and Safety

### Abstract

Ensuring the safety of life of the people traveling on the aircraft is the first ethical rule. For this reason, line maintenance, which is determined to be a part of aircraft accidents, should be carefully carried out by the maintenance departments of all domestic and foreign airlines and aircraft maintenance organizations with sufficient number of employees. This study has been prepared in order to attract the attention of the people or organizations engaged in aircraft maintenance on the apron and to inform them. For this purpose, the aircraft line maintenance activities on the apron and the possible risks that the employees may encounter while performing these activities have been examined in general. In addition, the precautions to be taken are explained and the effects of human factors on the process are expressed. In the study, according to the Occupational Health and Safety Law No. 6331 (6331) and the Instruction of Approved Aircraft Maintenance Organizations (SHT-145), the studies on the subject in the literature were evaluated, and in the light of these studies, the conditions and conditions to be considered were specified. Aircraft maintenance work, which is classified as "dangerous class" according to 6331, must be carried out under the management of the Employer by taking the necessary precautions in order to eliminate the risk and danger, including the work on the apron. Within the scope of the regulations made by national and international aviation official institutions, aviation employees must strictly comply with all the rules determined by the Employer and the General Directorate of State Airports Authority.

**Keywords:** Aircraft, Apron, Line Maintenance, Law of Occupational Health and Safety No. 6331, FOD, Accident.

\* Sorumlu Yazar: [mukaddersen@trakya.edu.tr](mailto:mukaddersen@trakya.edu.tr)



## 1. Giriş

6331 Sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu'nun (İSGK) "amacı; işyerlerinde iş sağlığı ve güvenliğinin sağlanması ve mevcut sağlık ve güvenlik şartlarının iyileştirilmesi için işveren ve çalışanların görev, yetki, sorumluluk, hak ve yükümlülüklerini düzenlemektir". Bu kanuna göre [6331: 1] "İş kazası, işyerinde veya işin yürütümü nedeniyle meydana gelen, ölüme sebebiyet veren veya vücut bütünlüğünü ruhen ya da bedenen özre uğratan olaydır. Risk, tehlikeden kaynaklanacak kayıp, yaralanma ya da başka zararlı sonuç meydana gelme ihtimalidir. Önleme, işyerinde yürütülen işlerin bütün safhalarında iş sağlığı ve güvenliği ile ilgili riskleri ortadan kaldırmak veya azaltmak için planlanan ve alınan tedbirlerin tümüdür. Tehlike ise işyerinde var olan ya da dışarıdan gelebilecek, çalışmanı veya işyerini etkileyebilecek zarar veya hasar verme potansiyeli" olarak belirtilmektedir.

Onaylı Hava Aracı Bakım Kuruluşları Talimatı'na (SHT-145) göre havacılıkta, uçuş öncesi kontrol hariç, hava aracı veya komponentin birlikte veya ayrı muayenesi, revizyonu, parça değiştirilmesi, onarımı, arıza veya hasar giderme işlemi "bakım" olarak tanımlanmaktadır. Apron, havaalanlarında uçakların park pozisyonlarını aldıkları, yakıt aldıkları ve uçaklara yüklemenin yapıldığı alanlardır. "Hava aracının veya hava aracı parçasının onaylanmış standartlara uygun olarak hangar gerektirmeyen bakım, onarım, parça değiştirme ve hasar giderme işlemlerinin yapılmasına" "hat bakım" denir [SHT-145: 1].

İSGK'ya göre, "tehlikeli sınıf"a giren uçak bakımı [6331], hem o uçakta seyahat edecek yolcular hem de bakım personeli için oldukça önemlidir, çünkü uçuşun güvenle başlayıp güvenle tamamlanması, orada yapılacak çalışmanın gidişatına bağlıdır.

Bu çalışmada, apron'da gerçekleştirilen uçak hat bakım faaliyetleri sırasında oluşabilecek genel riskler ve bu riskler için alınması gereken iş sağlığı ve güvenliği önlemleri incelenmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

Hat bakım ve İSGK ile birlikte, çalışan emniyeti ve güvenliği açısından aprondaki uçak bakım elemanının karşılaşılabileceği olası riskler ve önlemler bu bölümde ele alınmıştır.

### 2.1. Hat Bakım

Şekil 1'de bir örneği görülen ve çoğunluğu apronda gerçekleşen hat bakım, "hava aracının söz konusu uçuşa hazır olmasını sağlamak için uçuş öncesi gerçekleştirilen her türlü bakım"dır. Hat Bakım, "arıza tespiti, arıza giderme, gerekli olması halinde, harici test ekipmanı kullanarak motor ve pervane gibi komponentlerin değişimi, belirgin uygunsuzlukları ortaya çıkaran, ancak kapsamlı muayene gerektirmeyen görsel muayeneleri içeren planlanmış bakım ve/veya kontroller, ayrıca, hızlı açılan erişim panellerinden/kapılardan görülebilen içyapı, sistem ve güç sistemi unsurları, kapsamlı söküm gerektirmeyen ve basit yöntemler ile gerçekleştirilebilen küçük çaplı onarım ve modifikasyonları" içerebilir [SHT-145: 8].

"Hava aracı hat bakımı için hangar zorunlu değildir. Fakat küçük çaplı planlı işler ve uzun süreli arıza giderimi için fırtınalı havalarda kullanılabilecek hangar imkanlarına erişim sağlanabildiğinin kanıtlanması önerilir" [SHT-145: 17].

Bakım ya da kontrol süreci, dikkat dağınıklığı yaratmayacak sıcaklık ve nemde gerçekleşmelidir. Rüzgar, dolu, kar, buz gibi doğa olayları yapılan iş için tehlike yaratacak bir durumda ise, ortam normal hale gelene kadar yapılan işe ara verilmelidir. [SHT-145: 18].



Şekil 1. Apronda yapılan uçak bakımı örneği [Blogo350, 2015].

SHT-145, Ek1, Tablo-5'de yer alan Personel Gereklilikleri'ne göre ilgili personelin planlanmış iş için, "küçük çaplı planlı hat bakım süreci, bakım programında belirtilen haftalık bakım kontrolüne kadar ve söz konusu bakım kontrolü de dahil olmak üzere gerçekleştirilen her çeşit küçük çaplı planlı muayene/bakım kontrolünü kapsar. Haftalık bakım kontrolü belirtmeyen hava aracı bakım programları için, Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü (SHGM), haftalık bakım kontrolüne eşdeğer olarak değerlendirilen en önemli bakım kontrolünü belirleyecektir. Küçük çaplı planlı hat bakımın veya basit arıza gidermenin parçası olarak, hava aracı bakım çıkış sertifikasını düzenlemek amacıyla, personelinin uygun görev eğitimi sonrasında gerçekleştirilmesine izin verilen görevlere örnekler: Tekerleklerin/jantların değiştirilmesi. Tekerlek fren ünitelerinin değiştirilmesi. Acil durum ekipmanlarının değiştirilmesi. Fırınların, ısıtıcıların ve meşrubat makinelerinin değiştirilmesi. Dahili ve harici ışıkların, filamanların ve elektronik flaş lambalarının değiştirilmesi. Cam silecek lastiklerinin değiştirilmesi. Yolcu ve kabin ekibi koltuklarının, koltuk emniyet kemerlerinin ve kayışların değiştirilmesi. Motor kapaklarının kapatılması ve hızlı erişim kontrol panellerinin tamiri. Sürgülü vanalar hariç olmak üzere tuvalet sistemi komponentlerinin değiştirilmesi. Basınç yapısının bir parçasını oluşturan kapılar hariç olmak üzere dahili kompartıman kapıları ve plakardların basit onarımları ve değiştirilmesi. Baş üstü saklama kompartıman kapıları ve kabin döşeme unsurlarının basit onarımları ve değiştirilmesi. Statik boşaltıcı fitillerin değiştirilmesi. Hava aracı ana ve APU hava aracı bataryalarının değiştirilmesi. Hoparlör sistemi dışında, uçuş sırasında kullanılan eğlence sistemi basit komponentlerinin değiştirilmesi. Rutin yağlama ve tüm sistem sıvılarının ve gazlarının ikmali. Söz konusu deaktivasyonun Genel Müdürlük tarafından basit bir görev olarak kabul edildiği durumlarda, sadece alt sistemlerin ve hava aracı komponentlerinin işletmeye ait minimum ekipman listesinde izin verildiği şekilde deaktivasyonu. Paneller, motor kapakları veya kapakların sökümü/kapatılması veya özel aletlerin kullanılması dahil olmak üzere, buzlanmayı giderici/buzlanmayı önleyici sıvı artıklarının muayene edilmesi

ve giderilmesi, SHGM tarafından belirli bir hava aracı tipi için basit bir görev olarak kabul edilen diğer görevlerdir. Arıza bulmaya ihtiyaç olmadığında, Görev, Minimum Ekipman Listesi'nde yer aldığı ve Minimum Ekipman Listesi (MEL) tarafından gerekli görülen bakım faaliyeti Genel Müdürlük tarafından basit olarak kabul edildiğinde arıza ertelemeyi de kapsayabilir.” [SHT-145: 30].

SHT-145 Ek1, Tablo 15'deki Bakım Kuruluşu El Kitabı'na göre “Hava aracı komponentlerinin, aletlerin, ekipmanların kontrolü; buzlanmayı giderici/buzlanmayı önleyici sıvı artıklarının kontrolü/giderilmesi dahil olmak üzere servis verme/yakıt doldurma/buzlanmayı giderme, arızaların ve tekrarlayan arızaların kontrolü; teknik kayıt defterinin (log) doldurulması süreci; havuzda toplanmış parçaların ve kiralınmış parçaların durumu; hava aracından sökülen kusurlu parçaların geri gönderilmesine ilişkin süreç; kritik bakım görevlerinin kontrolüne ilişkin tüm süreçler” “ilave hat bakım süreçleri”dir [SHT-145: 76].

## 2.2. 6331 Sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu (İSGK)

İSGK'nın 9. maddesine dayanarak Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı tarafından 26.12.2012 tarihli ve 28509 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan “İş Sağlığı ve Güvenliğine İlişkin İşyeri Tehlike Sınıfları Tebliği”nin birinci maddesince yayımlanan Ek-1'deki İşyeri Tehlike Sınıfları Listesinde “Hava taşıtlarının ve uzay araçlarının bakım ve onarımı” tehlikeli sınıfta yer almaktadır [Tebliğ:1, 2012].

Bu kanuna göre, “risk” ve “tehlike”yi ortadan kaldırmak için önlem alınmalıdır. Bunun için, “işyerinde var olan ya da dışarıdan gelebilecek tehlikelerin belirlenmesi, bu tehlikelerin riske dönüşmesine yol açan faktörler ile tehlikelerden kaynaklanan risklerin analiz edilerek derecelendirilmesi ve kontrol tedbirlerinin kararlaştırılması amacıyla”, gerekli risk değerlendirmesi yapılmalı ve buna göre çözümler gerçekleştirilmelidir [6331].

İşveren, oluşturduğu acil durum yönetimi ve acil durum planının uygulanabilirliğini sağlamakla yükümlüdür. Aksi halde İSGK'ya göre idari para cezasına çarptırılır [İzmirli ve diğ., 2021].

## 2.3. Olası Riskler ve Önlemler

Bu bölümde, “apronda çalışırken yaşanabilecek olası riskler ve önlemleri” konularında literatürdeki çalışmalar incelenmiştir.

6331 (2012) Sayılı Kanuna göre, iş sağlığı ve güvenliği açısından, çalışırken saat, yüzük, kolye, zincir ve künye benzeri takı takılmamalıdır.

HEAŞ (2020)'de, öncelikle aprona çıktığında, Şekil 2'deki gibi yüksek görünürlüklü fosforlu yekek ya da reflektörlü giysi giyilmesi ve yakıt ikmali yapacak personelin, düştüğünde kıvılcım oluşturabilecek tornavida vb. sivri uçlu alet bulundurmaması, ayrıca kıvılcım çıkarabilecek türde ve kaygan tabanlı ayakkabılar giymemesi gerektiği belirtilmektedir.



Şekil 2. Aprona çıkanların giymesi gereken yekek örnekleri [Zgo, 2021].

Garv (2015), yaptığı çalışmada konuyu yüksek ses ve motorun riskleri açısından ele almıştır. Bu çalışmaya göre, çalışan uçak motorundan gelen gürültü, geçici ya da kalıcı duyma problemi yaratabilir. Bu nedenle apronda çalışan personel, Şekil 3'de görüldüğü gibi bir kulak koruyucu kullanmalıdır. Uçak motoru çalışmaya başlamadan önce personel haberdar edilmelidir, çünkü motorun maksimum güçte çalışması sırasındaki hava alışı, motorun güvenlik alan sınırını dikkate almayan kişiyi ya da ortalıkta bulunan eşyaları motorun içine çekerek kişinin ölümüne sebep verebilir ve eşyaları parçalayabilir (bakınız Şekil 4). Düşük güçte bile motorun arkasında en az 30 metre mesafe bırakılmalıdır, çünkü sıcak jet kamyonu bile kontrolsüzce itebilir. Bu nedenle motor yakınında çalışırken özel bir dikkat şarttır.



Şekil 3. Aprondaki yüksek sese karşı kulaklık kullanımı örneği [Xw,2019].



Şekil 4. Çalışan uçak motorunun çevreye verebileceği zarara bir örnek [Garv, 2015].

Garv (2015)'e göre, uçak yakınında herhangi bir yakıt sızıntısı varsa, sızıntının kaynağı bulunarak derhal durdurulmalı ve kibrit, çakmak gibi ateş içeren tüm maddeler etraftan uzaklaştırılmalıdır. Yakıt dolumu ya da boşaltılması sırasında önce topraklama işlemi yapılmalıdır. Uçak oksijen sistemine gerekli oksijen yüklenirken de topraklama yapılması şarttır, çünkü en ufak bir kıvılcım dahi, maddi ve manevi kayıplara yol açabilir. Uçak bakımı sırasında gereken malzemeler dışındaki istenmeyen malzemeler Ör. kesik teller, parçalanmış vidalar, plastik torbalar ya da taşlar yabancı madde olarak tanımlanır. Bunların uçağa verdiği zarar YaMaHa (Yabancı Madde Hasarı, Foreign Object Damage, FOD) olarak adlandırılır. En ufak boyuttaki bir FOD dahi türbin motora zarar verebilir ve hareket eden bir pervanede ciddi hasarlar oluşturabilir. AA1 (2010)'de, 28 Şubat 2010 tarihinde Air Asya'nın Airbus A320 uçağında hat bakım sonrası unutulmuş ve uçuştan önce farkedilmiş bir FOD örneği Şekil 5'de görülmektedir. Burada, bir kazaya ramak kala olayı yaşanmış ve durumun farkedilmesi olası kazayı önlemiştir. AA2'nin 2017 yılında Airbus A320 kazası nedeniyle hazırladıkları rapora göre, Şekil 6'da Jetstar Airways' ait Airbus A320-232 uçağının 18 Aralık 2017'deki uçuşunda, pilot iniş sırasında sol motorun ters itme (itki) yapmadığını farketmiş normal frenlemeyi kullanarak yavaşlayıp güvenli iniş gerçekleştirmiştir. Olay sonucunda uçakta herhangi bir hasar veya yaralanma olmamış ve kaptan, soruşturma için itki ters çevirici mekanizması sorununu bildirmiştir. Olay araştırıldığında gece bakım sırasında, sol motor itki ters çevirici kilitleme piminin çeviriciye takılmış olduğu ancak bakım sonrası çıkarılmasının unutulduğu anlaşılmıştır. Bu durum uçağın itki ters çeviriciyi devre dışı bırakmasına neden olmuştur. Araştırmalarda, 1 m'lik kırmızı uyarı bayrağının mevcut düşük ışık koşullarında görülmesinin zor olduğu, bakım elemanın bu nedenle takılı unuttuğu anlaşılmıştır. Bu sorunu çözmek için ilgili bakım firması, kapalı motor kaportalarına asmak için tüm itki ters çevirici kilitleme pimi uyarı bayraklarının uzatılması kararı almış ve pimin ayrıca bakım sırasında motor itki ters çevirme kontrollerine yerleştirilmesi için bir uyarı notu yazmıştır. Ayrıca uçak üreticisi Airbus'da, uçak bakım kılavuzunun Ağustos 2019 yayımladığı revizyonunda, bakım elemanlarından sonra yeniden etkinleştirildiğini doğrulamak için itki ters çevirme sisteminin operasyonel bir testini başlatmayı tavsiye etmiştir.

Garv'nin 2015 yılında uçak bakım pratikleri konusundaki çalışmasına göre, çalışanın yanındaki katlanabilir kutular, iş kutuları, bakım kutuları, hortumlar, elektrik kabloları, uzatma kabloları ve bakım için kullanılan her şey, kullanıldıktan sonra dikkatli bir şekilde toplanmalıdır. Bakım sırasında çalışma yapılan alanın yeteri kadar aydınlatılması, yapılan işin ve uçak teknisyenin sağlığı açısından önemlidir. El ışıkları kullanılabilir ancak bu cihazların üzerindeki pillerin düzenli aralıklarla voltaj kontrolünün yapılması gerekmektedir. Ayrıca el ışıkları çalışan kişinin bir elini meşgul edeceği için, uçak bakım personeli işini tek el ile yapmak zorunda kalacaktır. Bu nedenle Şekil 7'de görülen baş ışıklarının kullanılması tercih edilebilir. Güvenlik şeritleri, yaya yürüyüş yolları, yangın şeritleri dikkate alınmalıdır. Uçağın üzerindeki kapaklar ve kilitlerin bakım işlemi sonrasında düzgün kapatıldığından emin olunmalıdır. Çalışanların göremeyebileceği dikkate alınarak, uçuş kontrol yüzeyleri hareket ettirilmeden önce, çevredekiler durumdan haberdar edilmelidir. Uçakla ilgili her işte, yapılan tüm çalışmalar, yazılı kontrol listeleri ve bakım kitapçıklarındaki süreçlere uygun olarak yapılmalıdır. Karanlık ya da aydınlık bir yer arasında hızlı geçişler yapıldığında gözler ortama alışana

kadar beklenmeli, bakım işine daha sonra başlanmalıdır. Bakım personeli hem kendisinin hem de çevrede çalışanların güvenliğini tehlikeye atacak bir durum karşısında uyanık olmalıdır. Bakım sırasında aletlerle çalışırken uçağa çarpmamaya özen gösterilmelidir, çünkü oluşan en ufak bir çizik bile uçağın boyasında problem yaratarak, korozyona ve malzeme yorulmasına sebep olabilmektedir. Elektriğin olası zararları konusunda çalışanlar bilgilendirilmeli ve koruyucu giysi, deri eldiven ve topraklanmış malzemeler kullanılmalıdır. Elektrikle çalışırken, elektrik akımı kablolarının yalıtımı iyi olmalıdır. Kırık ya da hasarlı yalıtkan, akım geçtiğinde kabloyu ısıtır ve eritebilir, bu da kısa devre ve hatta yangın çıkarabilir. Kablolar ayak altından uzaklaştırılmalıdır. Elektrik yangınlarını önlemek için, elektrik işi yapılan çevre temiz ve düzenli olmalıdır, ayrıca kolay tutuşabilir malzemeler çevreden uzak tutulmalıdır. Kaynak işleri, belirlenmiş alanlarda yapılmalıdır. Mümkünse kaynak yapılan parça uçaktan uzak bir yerde kaynaklanmalıdır. Kaynak yapılan yerin yakınlarında yakıt yüklemeye boşaltma işlemi yapılıyorsa, kaynak yapımına derhal ara verilmelidir. Gaz tüpü güneş ışığından uzak tutulmalı ve ıslak zemin üzerine koyulmamalıdır. Uçağa oksijen yüklemesi yaparken tehlike oluşturabilecek her türlü durum dikkate alınmalı, tüp valflerinin girişinden kum, kir ve yağ uzak tutulmalıdır. Hava hortumları, kırılma ve yıpranmalara karşı sık sık kontrol edilmeli, gerekli durumlarda yenisiyle değiştirilmelidir. Hava hortumları kullanılmadığı zaman, kıvrılmadan düz bir şekilde bırakılmalıdır. Tüm bağlantılar sızıntısız olmalıdır. Basınçlı hava, el ya da giysilerdeki kalıntıyı tenimize doğru ittirerek zarar verebileceği için temizlik amacıyla kullanılmamalıdır. Birçok kaza ya da kazaya ramak kala olayı (durumu), uçağa tekerlek takılması sırasında sıkıştırılmış gaz nedeniyle olduğu için, olası personel yaralanmalarını önlemek amacıyla, tekerlek takma ve sökme işlemleri için uygun montaj aletleri kullanılmasına özen gösterilmelidir. Torna, matkap, kesiciler ya da benzeri makinelerin kullanımında, her makinaya özgü olan güvenlik kurallarına uyulmalıdır. Örneğin matkap ucu, yapılan işe uygun seçilmeli ve gözlük koruması mutlaka takılmalıdır. Çalışma tamamlandığında tüm alan temizlenmelidir. Bakım yapılan yerin yakınlarında ve ortaya çıkabilecek yangın türüne uygun yangın söndürücüler bulundurulmalıdır. İlk yardım malzemeleri ve yangın söndürücülerin yerleri dikkat çekecek şekilde işaretlenmelidir. Uçak hat bakım personeli bu malzemelerin yerini bilerek çalışmaya başlamalıdır. Yangın söndürücüler periyodik olarak kontrol edilmeli ve bir kontrol listesine kontrol tarihleri ve açıklayıcı bilgileri işlenmelidir. Kontrol listesi yoksa, yangın söndürücülerin yerleri, güvenlik contalarının kırılıp kırılmadığı, göstergesindeki basınç değerinin uygun bir kullanım aralığında olup olmadığı, çıkış tıkanması ya da belirgin hasar durumları kontrol edilmelidir. Yangın söndürücülerin üzerine ya da hemen yanına, hangi tür yangınlar için kullanılacağını belirten işaret ya da yazılar yazılmalıdır. İşaretler en az 3 feet (0,91 m) mesafeden kolayca görülebilir büyüklükte olmalıdır. İşaretler duvar üzerine uygulandığında, en az 25 feet (7,62 m) uzaklıktan kolayca görülebilmelidir. Türbin motorun yağları, genellikle daha eski motorlar için kullanılan tip-1 ve daha yeni yüksek sıcaklıklı motorlarda kullanılanlar tip-2 olmak üzere iki çeşittir. Birbirleriyle uyumlu olmadıkları için asla birbiri ile karıştırılmamalıdır. Yakıt yüklemeye işleminde, koruyucu eldiven kullanılmalı, sonrasında eller yıkanmadan herhangi bir şey yiyip içilmemelidir. Malzeme çıkarılırken doğru ekipman ve ikmal süreçleri uygulanmalıdır. Tutuşabilir kimyasallar (ör: yakıt, yağ, solvent ve boyalar), kıvılcım, ısı ya da çıplak alevden kolayca tutuşabileceği için, bu tür malzemeleri, ısı kaynağından uzak

tutmak ve uygun ortamlarda saklamak gerekir. Tutuşabilir kimyasalların yakın çevrelerinde, yeterli miktarda yangın söndürücü bulundurulmalıdır. Kimyasalları kullanırken, eldiven ve solunum cihazı takılmalıdır. Korozyona sebep olan kimyasallar, metallerle etkileşime girerek cildi yakabilir. Saklama yerinin uygun olması, bu tür malzemeler ile temastan kaçınılması, yüzeyin yeterince temiz olması önemlidir. Gözle temastan kaçınılmalıdır. Uygun giysi, gözlük, yüz koruyucu, eldiven ve önlük kullanılması zorunludur. Bakımdan sonra, göz yıkama işlemi yapılması belirtiliyorsa, bu işlem mutlaka yapılmalıdır. Toksik kimyasallar, zehirli oldukları için, buharı solunduğunda nefes yoluyla kana karışır ayrıca cilt tarafından emilir. Kısa ve uzun süreli kullanımları astım, kanser gibi hastalıklara sebep olur. Bu tür malzemelerle çalışırken kişisel koruyucular takılmalıdır. Reaktif kimyasallar, başka kimyasallar ile tepkimeye girdiğinde yapısal değişikliğe uğradığı için, şiddetli patlamalar meydana gelebileceği akılda tutulmalı ve dikkatli kullanılmalıdır. Kimyasallarla çalışma yapılan yerlerde, Şekil 8'de bir örneği görülen güvenlik işaretleri bulundurulmalıdır.



Şekil 5. 28 Şubat 2010'da Air Asya'ya ait Airbus A320'de hat bakım sonrası unutulmuş ve uçuştan önce farkedilmiş bir FOD [AA1,2010].



Şekil 6. 18 Aralık 2017'de Jetstar Airways' ait Airbus A320-232'de hat bakım sonrası unutulmuş ve uçuştan sonra tespit edilmiş bir FOD örneği [AA2,2017].



Şekil 7. El ve baş lambası örnekleri.

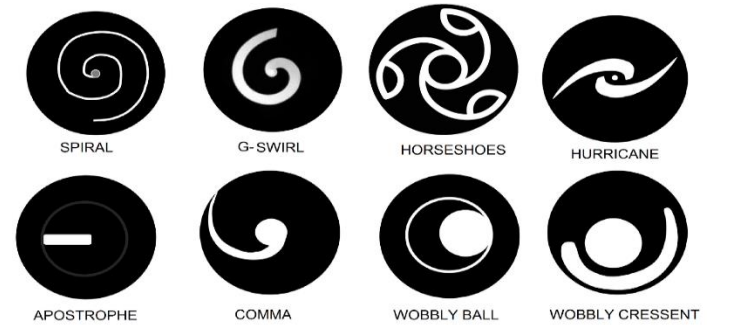
PATLAYICI	OKSİTLEYİCİ	ÇOK KOLAY ALEVLENİR	KOLAY ALEVLENİR	ALEVLENİR	ÜREME İÇİN TOKSİK KATEGORİ 3
TOKSİK	ÇOK TOKSİK	ZARARLI	AŞINDIRICI	TAHRİŞ EDİCİ	ÇEVRE İÇİN TEHLİKELİ
SOLUNMA İLE ALERJİK	CİLT TEMASI İLE ALERJİK	KANSOREJEN KATEGORİ 1	KANSOREJEN KATEGORİ 2	KANSOREJEN KATEGORİ 3	
MUTAJEN KATEGORİ 1	MUTAJEN KATEGORİ 2	MUTAJEN KATEGORİ 3	ÜREME İÇİN TOKSİK KATEGORİ 1	ÜREME İÇİN TOKSİK KATEGORİ 2	7

Şekil 8. Kimyasallarla ilgili çeşitli güvenlik işaretleri [Aksoy, 2016].

Liston (2005)'a göre, hat bakımında zamanlanmış görevler genellikle transit, günlük ve haftalık kontrol şeklinde düzenlenir. Sorun giderme ve hata düzeltme gibi planlanmamış görevler, zamanlanmış bir denetimin dışında gerçekleşebilir. Uçağın tipine bakılmaksızın herhangi bir bakım görevi, üreticinin yayınlarına göre kurulum, süreç ve yakın çekim olmak üzere üç aşamada gerçekleşir.

Langer ve Braithwaite (2016) için kurulum aşaması, kontrole hazırlık için yapılan işleri içerir ve genellikle uçağa gitmeden önce ofiste gerçekleşir. Bu aşamada, dokümantasyon incelenir ve yazdırılır, araçlar ve yedek parçalar hazırlanır ve ekibin diğer üyeleriyle iletişim kurulur. Süreç aşaması, bakım elemanı, tahsis edilen uçaklara ulaştığında başlar. Bakım elemanı, belirli kontrol listesinin gerektirdiği görevleri yerine getirir ve teknik kayıtlara veya bakım kontrolünden iletilen diğer görevlere göre hata düzeltme işlemini gerçekleştirir. Bu aşama, bakım görevlisinin gerekli tüm işleri yapması ve tekrar ofise geri dönmesi ile sona erer. Yakın çekim (son kontrol) aşamasında, bakım görevlisi, genellikle ofiste gerçekleşen hat kontrolünü (örneğin uygun şirket belgelerini doldurma) tamamlamak için gerekli işlemleri yapar.

Hoke (2015)'un çalışmasında motorun çalıştığını göstermek amacıyla uçak motorlarının rengine göre farklı renkte ve genellikle beyaza boyanan döner spirallerin, uçak üreticileri tarafından motorun ön dış kısmına belirteç olarak yerleştirildiği (bakınız Şekil 9 ve Şekil 10), bu nedenle motorun yakınlarda çalışmadan önce, hem sese hem de bu spirallerin dönüp dönmediğine dikkat edilmesi gerektiği vurgulanmıştır.

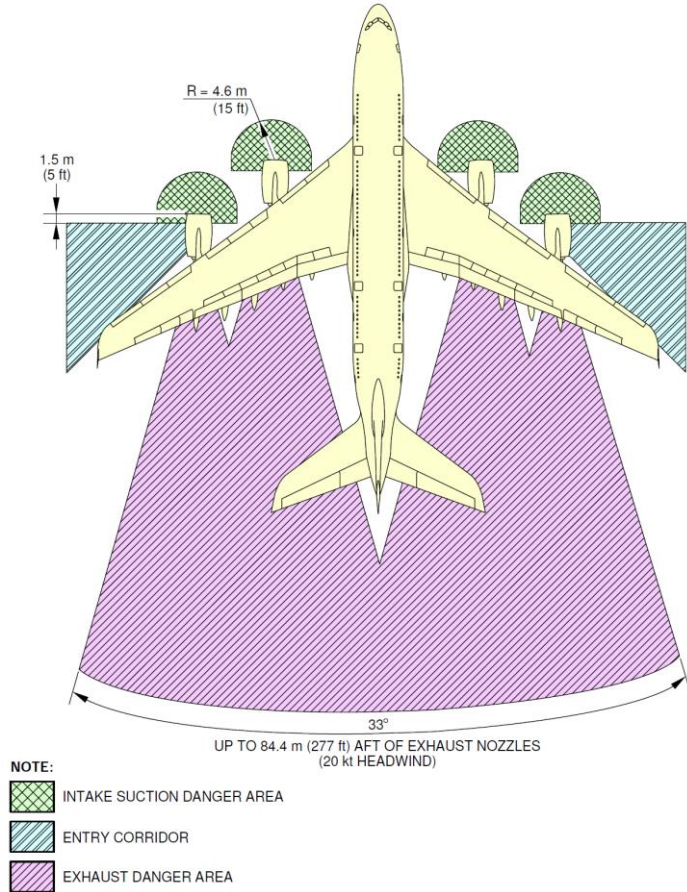


Şekil 9. Uçak jet motoru spiral örnekleri. Genel olarak, siyah zemin üzerine beyaz kontrast rengi seçilir [W1, 2018].



Şekil 10. Uçak motorlarında kullanılan döner spiral örneği [Hoke, 2015].

Airbus'ın 2005 yılındaki "Uçak Özellikleri Havalimanı ve Bakım Planlaması" konusundaki çalışmasında, apronda bakım sırasında uçak motoru rölantide çalıştırıldığında motorların çevresinde çalışan insanları korumak amacıyla Airbus A380-800 için Şekil 11'de bir örneği görülen tehlike alanlarının dikkate alınması gerektiği ifade edilmiştir.



Şekil 11. A380-800 uçağında rölantide çalışan GP 7200 uçak motoru için tehlike alanları [Airbus, 2005].

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Avers ve diğ.'nin 2015 yılında hazırladıkları raporda, dünya genelindeki ticari uçakların 1990-2006 yılları arasındaki uçuşlarında meydana gelen kazalarının %8'inin birincil nedeninin bakım kaynaklı olduğu, Avrupa Havacılık Güvenliği Ajansı'nın (European Aviation Safety Agency, EASA) istatistik çalışmasından tespit edildiği belirtilmektedir.

Ayrıca, İngiltere Sivil Havacılık Otoritesi tarafından 2013 yılında gerçekleştirilen araştırmada, 2002-2011 yılları arasında dünya genelinde meydana gelen uçak kazaları incelenmiş ve kazaların %4 lük bölümünde 273 kişinin vefatının yine uçak bakım kaynaklı meydana geldiği görülmüştür.

SHT-145'de açıklanan küçük çaplı planlı hat bakım, basit arıza giderme ve ilave hat bakım işlemlerine ait kontrol listeleri ve uçak bakım el kitapçıklarının hazır bulundurulması, işin kontrollü ve daha hızlı yapılmasına imkan sağlar. Çevre koşulları kötü durumdayken işe devam etmek hem çalışan hem de iş için zararlı sonuçlar oluşturabilir. Bu nedenle ortamın normalleşmesi beklenmelidir.

6331 Sayılı Kanun gereği tehlikeli sınıfta kabul edilen uçak bakımında tüm iş güvenliği önlemleri alınmalı, ayrıca eldiven, gözlük ve kulaklık gibi gerekli ekipmanlar takılarak iş yapılmalıdır. Takı takılmamalı ve işi engelleyecek ya da kişiye zarar verebilecek bol giysiler iş yaparken kullanılmamalıdır.

İzmirli ve diğ. (2021)'nin belirttiği gibi İSGK'ya göre idari para cezasına çarptırılacağını bilen İşveren'in kontrolünde gerçekleştirilen acil durum yönetimi ve acil durum planına, çalışan da harfiyen uymalıdır.

HEAŞ (2020)'de ifade edilen fosforlu yelek ya da reflektörlü giysinin giyilmesi, çalışanın görülebilirliği için bir zorunluluktur. Kıvılcım oluşturmayacak eşya ve ayakkabılar, olası yangının çıkmasını engelleyecektir. Ayrıca kaygan tabanlı ayakkabılar, çalışanın apron gibi düz bir zeminde, uçak içinde ve çevresinde düşmesine yol açabileceği için tercih edilmemelidir.

Garv (2015)'in ve Airbus (2005)'in açıkladıkları Şekil 11'de örneği görülen uçak motoru tehlike alanının içine girmek, hayati risk oluşturacaktır. 2015 yılında (Y1, 2015), motorun hava alığı önündeki tehlike alanında bulunan bir çalışanın havayla beraber motorun içine çekilerek parçalandığı bir havacılık kazası meydana gelmiştir. Bu nedenle, motor tehlike alanına özellikle dikkat edilmelidir.

Garv (2015)'de belirtildiği gibi, ateş içeren maddelerle uçağın etrafına yanaşılması olası yakıt sızıntısının alev almasına yol açabilir. Uçağa yakıt alırken, yakıt boşaltılırken ya da oksijen yüklenirken uçağın topraklanması, kıvılcım oluşumunu ve böylece büyük bir yangını engelleyecektir. Hatalı çalışma yapmamak için yeterli ışıktaki çalışmalıdır. Çalışırken uçağa zarar verebilecek tutum ve davranışlardan kaçınılmalıdır. Hem çalışana hem de uçağa zarar verebilecek elektrik malzemelerine özel bir dikkat gerekir. Kaynak işlemi, yakıt yükleme zamanları dışında ve uçaktan uzakta yapılmalıdır. Uçağa oksijen yüklenmesi sırasında kullanılan tüm ekipman dikkatle takip edilmelidir. Tekerlek takma ve sökme sırasında uygun aletler kullanılmalıdır. Bakım sırasında çıkabilecek yangın türüne uygun yangın söndürücülerin yerleri ve kullanımları bilinmeli, düzenli aralıklarla kullanılabilirlikleri kontrol edilmelidir. Böylece meydana gelecek herhangi bir durumda acil müdahale edilebilir. Kullanılacak kimyasalların içeriği, olası zararları, kullanım koşulları ve kimyasallarla ilgili güvenlik işaretlerinin anlamları bilinmeli; ve kimyasalların kullanımı sırasında uygun koruyucu ekipmanlar takılmalıdır.

AA1 (2010) ve AA2 (2017)'de belirtilen FOD'lar, bakım elemanının gerçekleştirdiği çalışma sonrası unutulmuş malzemelerdir. Kaza olmaması için olası durumlara karşı çalışanlar daha dikkatli olmalıdır. Garv (2015)'de de belirtildiği gibi FOD kontrolü mutlaka yapılmalıdır.

Apronda yapılacak uçak bakımlarında, planlanmış ve/veya planlanmamış görevlerin kontrol listelerinde belirtildiği şekilde, sürece uygun olarak gerçekleştirilmesi gerektiği Garv (2015); Liston (2005); ve Langer ve Braithwaite (2016)'de açıklanmıştır.

Hoke (2015)'un çalışmasında ifade edildiği gibi, motorun yakınlarında çalışmadan önce motorun hem sesine hem de çalıştığına anlaşılması için üzerleri Şekil 9 ve Şekil 10'da örnekleri görülen şekilde boyanan spirallerin döndüğüne dikkat edilmelidir.

#### 4. Sonuç

Avers ve diğ.'nin yaptığı çalışmaya göre uçak kazalarının 1990-2006 yılları arasındaki %8'lik kısmı ve 2002-2011 yılları arasındaki %4'lük kısmı uçak bakım kaynaklıdır. Bu nedenle uçak bakımına özel bir önem verilmelidir. Hava aracı bakım firmasında, yapılacak işler için yetkili personel çalıştırılmalıdır. Bu nedenle firmanın, nitelikli ve kullanılan hava aracının tip yetkisine (lisansına) sahip, yeterli sayıda personeli olmalıdır, aksi takdirde alanda çalışırken mevcut zaman baskısı, uçuşun güvenliğini tehlikeye sokabilecek hata yaptırabilir. Tüm çalışanların ve özellikle olası risk altında olan uçak bakım elemanlarının tehlikeler konusunda farkındalıklarının artması için iş güvenliği eğitimi almaları önemlidir.

Hava araçlarının tipine göre, bakım yapmak üzere görevlendirilen teknik personel dışındaki çalışanların, bakım sürecine hiçbir şekilde dahil olmaması, yapılan işin güvenliği ve emniyetli uçuş için zorunludur. Uluslararası Sivil Havacılık Organizasyonu'nun (ICAO) yayınladığı her türlü düzenleme ve firmanın uyguladığı iş yeri güvenliği tedbirleri, herkesin sağlığını etkilediği için dikkatle takip edilmelidir [State-Fund, 2021]. Ülkemizdeki sivil havacılık otoritesi olan SHGM, uçuş emniyeti ve güvenliği için çeşitli düzenlemeler yapar ve bilgilendirmeleri havayolu firmalarına ulaştırır. İlgili düzenlemelere ait tüm içeriğe SHGM'nin internet sitesinden ulaşılabilir. İşveren işin ve çalışanın bütün güvenlik önlemlerini almalı ve bu önlemlerin uygulanmasını sağlamalıdır. Uzun ve büyük uçaklar, bakım yerinde manevra yaptıkları zaman, pilotun yerde çalışan personeli görebilmesi zordur, bu nedenle herhangi bir kazaya sebebiyet vermemek için, hat bakım dahil havayolu personeli, ramp bölümüne, aprona ya da uçuş hattına izinsiz girmemelidir. Uçak bakımında en ufak hataya yer olmadığı için tüm işler disiplinli bir çalışma gerektirir. Yapılan her iş için kullanılması zorunlu olan "kontrol listeleri"nde belirtilenler, mutlaka sırasıyla hiçbir adımı atlanmadan ve tamamlanan her iş için yapıldı işareti yazılarak gerçekleştirilmeli ve gerekirse uçak bakım kitapçıklarına bakmaktan çekinilmemelidir.

Apronda çalışırken, iş sağlığı ve güvenliği kurallarına uyulmalı, iş güvenliği uyarı levhalarına dikkat edilmeli, çevre koşulları uygunken fosforlu yepek ya da reflektörlü giysi ve kıvılcım çıkarmayacak ya da kaymayacak ayakkabı giyilmelidir. Kişisel koruyucular takılmalı ve uçak motoru tehlike alanına dikkat ederek, güvenli alan olarak belirtilen yer çizgileri izlenmelidir. El veya ayaklar motor giriş alanlarının yanına yaslanmamalıdır. Yakıt ve oksijen işlemleri ile birlikte kimyasallarla çalışırken yangın türüne göre kullanılan yangın söndürücülerin yerleri iyi bilinmelidir. Çalışma yaparken, kanat ucu, anten, pitot tüpü gibi sivri yerlere, yaralanma riski oluşturmaması için çarpmamaya dikkat edilmelidir. Uçağa takılı pervanenin durduğundan emin olunduktan sonra pervane ile ya da çevresinde çalışılabilir. Çalışan pervaneyi el ile durdurmak,

çok riskli olduğu unutulmamalıdır. Emniyetli uçuş için FOD kontrolüne önem verilmelidir.

İnsan, doğası gereği duygusal bir canlı olduğu için, çeşitli sebeplerden dolayı geçici dikkat eksikliği yaşadığında ya da kendine aşırı güven duyduğunda hatalı işler yapabilir ve böylece kazaya yol açabilir. Bu nedenle, havacılıktaki kazaların en önemli sebeplerinden biri insan faktörüdür. Aprondaki uçak bakım elemanlarının iş sağlığı ve güvenliği açısından hem mesleki hem de yasal yönden eğitimi zorunludur.

Uçak bakımının apronda ya da hangarda gerçekleştirilmesi sırasında yapılan işe göre meydana gelebilecek risk ve tehlikelerin incelenmesi daha sonraki çalışmada ele alınacaktır.

#### Kaynakça

- 6331 (2012). "İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu (6331 Sayılı)", Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, Yayınlanma: 30.06.2012 (01.06.2019).
- Airbus (2005). A380, "Aircraft Characteristics Airport and Maintenance Planning", Figure-6-3-1-991-002-A01 (P: 262), [https://www.airbus.com/content/dam/corporate-topics/publications/backgrounders/techdata/aircraft\\_characteristics/Airbus-Aircraft-AC-A380.pdf](https://www.airbus.com/content/dam/corporate-topics/publications/backgrounders/techdata/aircraft_characteristics/Airbus-Aircraft-AC-A380.pdf).
- Aksoy, Eren (2016). "Kimyasal Maddeler", <https://prosafty.com.tr/kimyasal-maddeler> (01.06.2021)
- Avers, Katrina B. (2015). "Operator's Manual for Human Factors in Aviation Maintenance", DOT/FAA/AM-15/2, Office of Aerospace Medicine, Washington, DC 20591, [https://www.faa.gov/data\\_research/research/med\\_humanfacs/oamtechreports/2010s/media/201502.pdf](https://www.faa.gov/data_research/research/med_humanfacs/oamtechreports/2010s/media/201502.pdf).
- AA1 (Aviation Accidents) (2010). "Air Asia – Airbus A320 (9M-AHA)", <https://www.aviation-accidents.net/air-asia-airbus-a320-9m-aha/> (01.06.2021).
- AA2 (Aviation Accidents) (2017). "Air Asia – Airbus A320 (9M-AHA)", <https://www.aviation-accidents.net/air-asia-airbus-a320-9m-aha/> (01.06.2021)
- Bloga350 (2015). "Airline 1 Concept Welcomed by A350 Customers", <http://bloga350.blogspot.com/2015/03/airline-1-concept-welcomed-by-a350.html>, (01.05.2021).
- Garv, Gaurav (2015). "Aircraft Maintenance Practices Introduction", <https://www.slideshare.net/gauravgarv5205/maintenacne-practices-introduction>, (01.06.2019).
- HEAŞ, (2020). "PAT Sahası Kullanma Süreç El Kitabı", <https://www.sgairport.com/Media/Default/Docs/Pdf/Announcements/PatSahasi.pdf>, Revizyon 3, (08.04.2020).
- Hoke, Ken (2015). "Aerosavvy Aircraft Engine Spirals & Swirls", <https://aerosavvy.com/aircraft-engine-spirals/>, (01.06.2019).
- İngiltere Sivil Havacılık Otoritesi (UK Civil Aviation Authority), (2013). "CAP 1036 Global Fatal Accident Review 2002 – 2011", TSO, ISBN 978 0 11792 834 3.
- İzmirli, M.K., Olcay, Z.F. & Sakallı, A.E. (2021). "İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu ve İşyerlerinde Acil Durumlar Hakkında Yönetmelik Kapsamında İşverenin Yükümlülüğü". Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (23), 810-816.
- Langer, Marie, ve Braithwaite, Graham R. (2016). "The Development and Deployment of a Maintenance Operations Safety Survey", Human Factors, Doi: 10.1177/0018720816656085, 58(7): 986-1006.

- Liston, Paul (2005). "Human Factors Competence in Aircraft Maintenance", Unpublished doctoral dissertation, University of Dublin, Dublin, Ireland.
- SHT-145 (2018). "Onaylı Hava Aracı Bakım Kuruluşları Talimatı (SHT-145)", Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü Uçuşa Elverişlilik Dairesi, Yayınlanma: 21/11/2013, Değişiklik: 16.04.2018, <http://mevzuat.shgm.gov.tr> (01.06.2019).
- State-Fund (2021). "Aircraft Maintenance Safety", <https://content.statefundca.com/safety/safetymeeting/SafetyMeetingArticle.aspx?ArticleID=532> (01.06.2019).
- Tebliğ (2012). "İş Sağlığı ve Güvenliğine İlişkin İşyeri Tehlike Sınıfları Tebliği", Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, Yayınlanma: 26.12.2012, Sayı: 28509, <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=16909&MevzuatTur=9&MevzuatTertip=5> (01.05.2021)
- W1 (2018). "Jet Engine Spiral spinners", [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Jet\\_engine\\_Spiral\\_spinners.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Jet_engine_Spiral_spinners.png), (14.07.2018).
- Xw, (2019). "GE航空：不止是航空发动机巨头", <https://xw.qq.com/partner/vivoscreen/20190526A03HK500>, (01.05.2021).
- Y1 (2015). "Uçak Motoru Teknisyeni Parçaladı", <https://www.youtube.com/watch?v=Xp1Nqx0pcgc> (17.09.2015)
- Zigo (2021). "Kategorie", [https://pracovneodevyzigo.sk/pracovne-odevy/reflexne\\_odevy-13544/vesty-13672/reflexna\\_vesta\\_bruno\\_be\\_04\\_003\\_hi\\_vis-49967-detail](https://pracovneodevyzigo.sk/pracovne-odevy/reflexne_odevy-13544/vesty-13672/reflexna_vesta_bruno_be_04_003_hi_vis-49967-detail), (01.05.2021).



## ***Herniaria glabra* L. Bitkisinin Biyolojik Aktivitesinin Belirlenmesi**

Şebnem Üzmez<sup>1</sup>, Serpil Uğraş<sup>2\*</sup>

<sup>1\*</sup> Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilimdalı, Düzce, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-6602-2892), [sebnem\\_zmz@hotmail.com](mailto:sebnem_zmz@hotmail.com).

<sup>2</sup> Düzce Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Düzce, Türkiye (ORCID: 0000-0002-1867-5781), [serpilkus@gmail.com](mailto:serpilkus@gmail.com)

(İlk Geliş Tarihi 17 Haziran 2021 ve Kabul Tarihi 20 Eylül 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.953649)

**ATIF/REFERENCE:** Üzmez, Ş. & Uğraş, S. (2021). *Herniaria glabra* L. Bitkisinin Biyolojik Aktivitesinin Belirlenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (27), 755-760.

### **Öz**

Bu çalışmada, *Herniaria glabra* L. bitkisinin antibakteriyal, antioksidan ve fenolik bileşik tayinini kapsayan biyolojik karakteristiklerinin aydınlatılması hedeflenmiştir. Bu amaç doğrultusunda ilk olarak sırasıyla, aseton, etanol ve hekzan çözücülerini kullanarak bitki ekstraktları elde edilmiştir. Elde edilen bitki ekstraktlarının *Enterobacter cloaceae* ATCC 13047, *Enterococcus faecalis* ATCC 29212, *Salmonella typhimurium* ATCC 14028, *Staphylococcus epidermidis* ATCC 12228, *Proteus vulgaris* ATCC 29905, *Yersinia pseudotuberculosis* ATCC 911, *Staphylococcus aureus* ATCC 25923, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853, *Klebsiella pneumoniae* ATCC 13883, *Bacillus subtilis* ATCC 6633, *Escherichia coli* ATCC 35218 ve *Listeria monocytogenes* ATCC 7644 bakterilerine karşı agar kuyu difüzyon metodu ile antibakteriyal aktiviteleri test edilmiştir. Antioksidan aktivite analizi DPPH (2,2-Difenil-1-pikrilhidrazil) serbest radikal giderme yöntemi ile tanımlanmış ve toplam fenolik bileşen analizi Folin-Ciocalteu metoduna göre gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmaların sonucunda, en yüksek verimle (% 2.4476) elde edilen aseton ekstraktının en yüksek fenolik içeriğe ( $6.25 \pm 0.0012$  µg/ml) sahip olduğu belirlenmiştir. Yine aseton ekstraktının DPPH radikal süpürücü aktivitesinin (IC<sub>50</sub>; 20.5610 µg/ml) etanol ve hekzan ekstraktlarından yüksek olduğu gözlenmiştir. Etanol, hekzan ve aseton ekstraktlarının *K. pneumoniae* bakterisine karşı yüksek inhibisyon aktivitesine sahip olduğu ancak diğer indikatör bakterilere karşı inhibisyon aktivitesinin olmadığı belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Antibakteriyal aktivite, Antioksidan aktivite, Ekstraksiyon, Fenolik bileşen, *Herniaria glabra*.

## **Determination of Biological Activity of *Herniaria glabra* L. Plant**

### **Abstract**

In this study, it was aimed to elucidate the biological characteristics of *Herniaria glabra* L. plant, including determination of antibacterial, antioxidant and phenolic compounds. For this purpose, firstly, plant extracts were obtained by using acetone, ethanol and hexane solvents, respectively. The obtained extracts were tested for antibacterial activity with agar well diffusion assay against *Enterobacter cloaceae* ATCC 13047, *Enterococcus faecalis* ATCC 29212, *Salmonella typhimurium* ATCC 14028, *Staphylococcus epidermidis* ATCC 12228, *Proteus vulgaris* ATCC 29905, *Yersinia pseudotuberculosis* ATCC 911, *Staphylococcus aureus* ATCC 25923, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853, *Klebsiella pneumoniae* ATCC 13883, *Bacillus subtilis* ATCC 6633, *Escherichia coli* ATCC 35218 and *Listeria monocytogenes* ATCC 7644 strains. The antioxidant activities of extracts were determined by DPPH (2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazil) free radical removal method and total phenolic component analysis was conducted according to Folin-Ciocalteu method. As a result of these studies, it was determined that the acetone extract obtained with the highest yield (2.4476%) had the highest phenolic content ( $6.25 \pm 0.0012$  µg/ml). It was also observed that DPPH radical scavenging activity (IC<sub>50</sub>; 20.5610 µg/ml) of acetone extract was higher than that of ethanol and hexane extracts. It was determined that ethanol, hexane and acetone extracts had high inhibitory activity against *K. pneumoniae* bacteria, but no inhibition activity against other indicator bacteria.

**Keywords:** Antibacterial activity, Antioxidant activity, Extraction, Phenolic component, *Herniaria glabra*.

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



## 1. Giriş

Bilim dünyasında çığır açan bir buluş olan ve dünyanın bilinen ilk antibiyotiği olarak literatürdeki yerini alan penisilinin keşfinden bu yana, farklı mekanizmalara sahip birçok antibiyotik tanımlanmış ve bakteriyel enfeksiyonların ortadan kaldırılması amacıyla başarılı bir şekilde kullanılmıştır. Antibiyotikler sadece insanların tedavisinde değil tarım (Lancini ve Lorenzetti, 1993) ve hayvancılık (Cohen ve Tauxe, 1986; Fey ve ark., 2000) alanlarında da kullanılmaktadır. İlk dönemlerde, piyasada güçlü ve etkili antibiyotiklerin mevcut olması yeni bileşiklerin keşfine ihtiyacın olmadığı durumunu ortaya çıkarmış ve ilaç şirketlerinin yeni antimikrobiyallerin geliştirilmesi amacıyla yürüttükleri programların durmasına yol açmıştır (Knowles, 1997). Bu süreci izleyen dönemlerde antimikrobiyal maddelerin geniş ölçekli kullanımı sonucunda bu maddelere karşı bakteriyel direnç geliştiği gözlenmiştir (Levin ve ark., 1997; Abad ve ark., 2011). Ve belirtmek gerekir ki direnç seviyeleri hızlı ve korkutucu bir şekilde yükselmeye devam etmektedir (Frost, ve ark., 2019; Khanal ve ark., 2020). Araştırmacılar mikroorganizmaların sebep olduğu enfeksiyon hastalıklarına karşı farklı etki mekanizmasına sahip yeni antibiyotik ilaçlar üretmek amacıyla çalışmalarını sürdürmektedir. Ancak çalışmalar sonucu üretilen sentetik antibiyotiklere karşı mikroorganizmalar zamanla direnç göstermekte ve bu ilaçların kullanım ömürlerini sınırlandırmaktadır. Buna bağlı olarak Dünya genelinde enfeksiyona bağlı hastalıklar ve ölümler artış göstermektedir. Amerikan Mikrobiyoloji Derneği'nin 2016'da yayımladığı rapora göre mevcut antibiyotiklere dirençli mikroorganizmalara karşı yeni nesil antimikrobiyal maddeler keşfedilmesi ve etkilerinin araştırılmasını zorunlu hale gelmektedir (Koerner, 2016). Özellikle yeni nesil ilaç tasarımı tıbbi bitkilerin kullanımı büyük önem taşımaktadır. Tıbbi bitkilerin tedavi edici etkilerinin sahip oldukları çok sayıda bileşenin sinerjik etkisinden kaynaklandığı ve bu sayede bitkilerin tek bir antibiyotikle inhibe edilemeyen patojenler üzerinde bile etkili olduğu saptanmıştır (Berber ve ark., 2013; Faydaoğlu ve Sürücüoğlu, 2013).

Hayatın vazgeçilmez temel kaynağı olan bitkiler, insanlar tarafından tıbbi özellikleri sayesinde günümüze kadar hem besin hem de ilaç olarak kullanılmıştır (Lis-Balchin ve Deans, 1997; Erdoğan ve Everest, 2013). Tıbbi bitkiler, hastalıkları önlemek, iyileştirmek veya sağlıklı bir hayat sürdürebilmek için ilaç olarak kullanılmaktadır (Yeşilbağ, 2007; Şahin, 2013). 1970'lerde kimya sektörünün gelişmesiyle sosyal ve politik değişimler sonucu bitkilerin yerini sentetik maddeler almış olmasına rağmen (Bayram ve ark., 2010; Sıcak ve ark., 2013; Şahin, 2013), günümüzde sentetik ilaçların yan etkilerinin tespit edilmesi ile tıbbi bitkilerin tedavideki önemini arttırmış ve modern tıp uygulamalarında tekrar önemli hale getirmiştir (Bayramoğlu ve Toksoy, 2008; Sıcak ve ark., 2013).

Günümüzde üretilen farmakolojik ajanların etken maddelerinin en az % 25'nin bitki kaynaklı olduğu belirtilmektedir (Andrade ve ark., 2014; Karasu ve Öztürk, 2014). Bitki etken maddelerinin farmakolojik ajan olarak kullanılmasının en önemli sebepleri olarak; ekonomik açıdan uygun olmaları, yan etkilerinin olmaması, toksik etkilerinin azlığı ve doğal olarak elde edilebilmeleri gösterilmektedir (Berber ve ark., 2013). Bitkiler farklı etki mekanizmalarına sahip aktif kimyasal bileşenler içermektedir (Yeşilbağ, 2014). Bitkilerde bulunan flavonoidler, alkaloidler, uçucu yağlar, terpenoidler, taninler, berberinler, kininler ve emetinler gibi

sekonder bileşikler birçok hastalığın tedavisinde kullanılma potansiyeline sahiptir (Lis-Balchin ve Deans, 1997; Dorman ve Deans, 2000; Berber ve ark., 2013). Bu bitkisel bileşenler, bitkilerin tomurcuk, yaprak, sap, dallar, tohumlar, meyve, kök, kabuk, salgı hücreleri, epidermal hücreleri ve trikومları gibi bitki organlarından sentezlenebilmektedir (Andrade ve ark., 2014; Karasu ve Öztürk, 2014). Yapılan çalışmalar sonucunda bu bitkisel bileşenlerin güçlü antioksidan ve antimikrobiyal etki gibi farklı biyolojik aktivitelere sahip olduğunu göstermiştir. Türkiye bitki florası hem içerdiği tür sayısı ve hem de endemik türler açısından değerlendirildiğinde dünyada önemli bir yere sahip olduğu görülmektedir (Berber ve ark., 2013). Mevcut bitki çeşitliliğinin değerlendirilmesi farmakolojik çalışmalara öncülük etmesi açısından önem arz etmektedir. Bu bağlamda yapılan çalışmalar sonucunda, birçok bitki türünün insanlar tarafından tıbbi amaçlı kullanıldığı belirlenmiştir.

Bu çalışmada kullanılan, Bolunun Kıbrısık ilçesinde yaygın olarak yetişen *Herniaria glabra* L. bitkisinin halk tarafından tıbbi amaçlı kullanıldığı bilinmektedir. Türkiye'nin hemen her bölgesinde doğal olarak yetişen *H. glabra* mesane kaslarını gevşetme özelliğine sahip olması sebebiyle, halk arasında; mesane kramplarının tedavisinde, böbrekler ve mesanedeki taş ve kumların düşürülmesinde, bununla birlikte, iltihapları önleyici, idrar yollarını dezenfekte edici, idrar söktürücü ve kasık yırtılmasına karşı tedavi amacıyla kullanılmaktadır (Kozachok ve ark., 2016; Al-Snafi, 2018). Bu çalışmada, Bolu bölgesinde yetişen *Herniaria glabra* L. bitkisinin biyolojik aktivitesi değerlendirilerek, farmakolojik çalışmalarda kullanım uygunluğunun belirlenmesi hedeflenmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. *Herniaria glabra* L.

*Herniaria glabra* L. bitkisi Bolunun Kıbrısık ilçesinde doğal habitatından toplanarak, taze bir şekilde laboratuvara getirilmiştir (Şekil 1). Laboratuvara getirilen bitki, Düzce Üniversitesi Tarımsal Biyoteknoloji bölümü Dr. Öğr. Üyesi Didem AMBARI tarafından tanımlanmıştır.



Şekil 1. *Herniaria glabra* L.

### 2.2. Ekstraktların Hazırlanışı

Tanımlanan *H. glabra* bitkisi 40 °C'nin altındaki kurutma fırınında kurutulmuş ve kurutulan bitki öğütücü yardımıyla toz haline getirilmiştir. Toz haline getirilen bitki örneği etanol, hekzan ve aseton çözücülerini 1:15 oranında karıştırılmış ve ağızları kapalı erlenler içerisinde oda sıcaklığında 24 saat boyunca 150-170 rpm'de su banyosu içerisinde ekstrakte edilmiştir. Her bir ekstrakt dört kat süzgeç kağıdı kullanılarak süzülmüş ve süzütünün evaporasyonu işlemi yaklaşık 30 °C'de 80-150 rpm'de, vakum altında yapılmıştır. Evaporasyon sonrası elde edilen ekstraktların miktarlarının belirlenmesinin ardından Dimetil Sülfoksit (DMSO, Merck)'de çözülerek daha sonraki

çalışmalarda kullanılmak üzere +4 °C sıcaklıkta stoklanmıştır (Ağaoğlu ve ark., 2005). Ekstraksiyon sonucu elde edilen ekstraktların verimi aşağıdaki % verim formülü kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\% \text{ Verim} = [(w_2 - w_1) / w_0] \times 100$$

$w_0$  = Kurutulmuş bitki örneğinin ilk ağırlığı,  $w_1$  = Kabın ağırlığı,  $w_2$  = Evaporasyondan sonra geriye kalan ekstraktın ve kabın ağırlığını ifade etmektedir (Ignat ve ark., 2011).

### 2.3. Antibakteriyel Aktivite: Agar Kuyu Difüzyon Metodu

*H. glabra* bitkisine ait bitki ekstraktlarının antibakteriyel aktivite tayini agar kuyu difüzyon yöntemi kullanılarak yapılmıştır (Ignat ve ark., 2011). Çalışmada kullanılan test bakterileri; *Enterococcus faecalis* ATCC, 29212, *Staphylococcus aureus* ATCC 25923, *Staphylococcus epidermidis* ATCC 12228, *Salmonella typhimurium* ATCC 14028, *Proteus vulgaris* ATCC 29905, *Yersinia pseudotuberculosis* ATCC 911, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853, *Enterobacter cloacae* ATCC 13047, *Escherichia coli* ATCC 35218, *Klebsiella pneumoniae* ATCC 13883, *Listeria monocytogenes* ATCC 7644 ve *Bacillus subtilis* ATCC 6633 mikroorganizmaları Düzce Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Moleküler Biyoloji Anbilim Dalından temin edilmiştir. İlk olarak test bakterileri Nutrient Broth (NB, Merck) besiyerinde inoküle edilmiş ve 37 °C'de 16-18 saat çalkalamalı su banyosunda inkübe edilmiştir.

İnkübasyon süresi sonunda mikroorganizma kültürlerinin UV spektrofotometresinde (Mapada) 600 nm dalgaboyundaki absorbansları ölçülmüş ve kültürler yaklaşık  $10^7$ - $10^8$  CFU/ml olacak şekilde steril dH<sub>2</sub>O ile seyreltilmiştir. Seyreltilen NB besiyeri içerikli mikroorganizmadan 100 µl örnek alınarak eküvyon çubuğu ile petrilere yayılması sağlanmıştır. Ardından mikroorganizma içerikli Nutrient Agar (NA, Merck) besiyeri üzerine kuyu açılarak her bir kuyuya hekzan, etanol ve aseton ekstraktlarından 100'er µl eklenmiştir. Pozitif kontrol olarak antibiyotik (Streptomisin, 10 µg/disk) ve negatif kontrol olarak DMSO kullanılmış ve çalışmalar çift tekrarlı olarak yapılmıştır (Sökmen ve ark., 2013).

### 2.4. Antioksidan Aktivite: DPPH Metodu

Bu çalışmada DPPH radikali giderme aktivite tayini 2,2-difenil-1-pikrilhidrazil (DPPH, Merck) serbest radikali kullanılarak yapılmıştır (Ardağ, 2008). DPPH radikalinin metanol çözeltisi kullanılarak bitki ekstraktlarının 20-100 µg/ml konsantrasyonları hazırlanmıştır. Hazırlanan örneklerden 750 µl'si alınarak üzerlerine 1500 µl DPPH çözeltisi eklenmiş ve 30. dakika sonunda spektrofotometrede 517 nm'de absorbans değerleri ölçülmüştür. Negatif kontrol olarak 750 µl metanol ile 1500 µl DPPH karışımı, kör olarak metanol çözeltisi, pozitif kontrol (standart) olarak ise Bütil hidroksianisol (BHA, 2-14 µg/ml, Aldrich) kullanılmıştır (Birman, 2012). DPPH radikal giderme aktivitesi aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\% \text{ İnhibisyon} = [(A_0 - A_1) / A_0] \times 100$$

$A_0$ = Negatif kontrolün absorbans değeri,  $A_1$ = Standart ve numunenin absorbans değeri ifade etmektedir (Birman, 2012).

### 2.5. Fenolik Aktivite: Folin-Ciocalteu Metodu

*H. glabra* bitkisinden elde edilen ekstraktların toplam fenolik bileşen miktarının belirlenmesinde Folin-Ciocalteu

reaktifi yöntemi kullanılmıştır. 1:1 oranında (25 mg gallik asit 25 ml dH<sub>2</sub>O'da çözülmüştür) hazırlanan stok çözeltisinden farklı konsantrasyonlara sahip (25-100 µg/ml) çözeltiler hazırlanmıştır. Hazırlanan bu standart çözeltilerden ve bitki ekstraktlarından alınan 0,1 ml örnek üzerine 4,5 ml dH<sub>2</sub>O eklenmiştir. Üzerine 0,1 ml Folin-Ciocalteu reaktifi eklenmiş ve 3 dakika beklendikten sonra sırasıyla % 2'lik Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> çözeltisinden 0,3 ml eklenerek karıştırılmıştır. İki saat boyunca oda sıcaklığında karanlık ortamda bekletildikten sonra 760 nm'de absorbansları ölçülmüştür. Kör numune benzer şekilde hazırlanmış olup numune ve standart çözelti yerine 0,1 ml dH<sub>2</sub>O eklenmiştir (Prior ve ark., 2005). Ekstraktların fenolik madde miktarları elde edilen standart gallik asit grafiğinden elde edilen oranlara göre gallik asit eş değeri olarak hesaplanmıştır (Okan ve ark., 2013).

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

### 3.1. Ekstraksiyonların Yüzde Verim Hesaplamaları

Bitki ekstraktların % verim hesaplamaları Tablo 1'de verilmiştir. Verimler w/w şeklinde gösterilmiştir. En yüksek verimin bitkinin, aseton ekstraktında (% 2,4476), en düşük verimin ise hekzan ekstraktında (% 0,6000) olduğu belirlenmiştir.

Tablo 1. Bitki ekstraktlarının yüzde verim değerleri.

Bitki	Ekstrakt	% Ekstrakt Verimi (w/w)
<i>Herniaria glabra</i> L.	Hekzan	0,6000
	Etanol	2,0762
	Aseton	2,4476

### 3.2. Antibakteriyel Aktivite

Bitki ekstraktlarının agar kuyu difüzyon yöntemi ile antibakteriyel aktiviteleri test edilmiştir. Bitki ekstraktlarının test bakterilerine karşı gösterdikleri inhibisyon aktivite Tablo 2'de gösterilmiştir. Her bir ekstraktın *K. pneumoniae* bakterisine karşı antibakteriyel aktivite gösterdiği diğer bakterilere karşı ise antibakteriyel aktivite göstermediği belirlenmiştir.

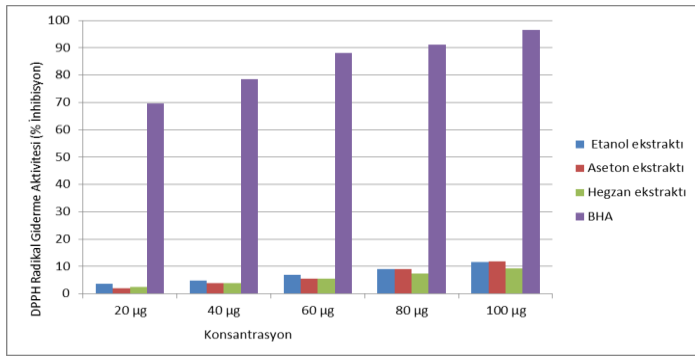
Tablo 2. Bitki ekstraktlarının inhibisyon aktivitesi.

Mikroorganizma	Ekstrakt / İnhibisyon zonu (mm)				
	E.	A.	H.	P.K	N.K
<i>E. faecalis</i>	-	-	-	15,5	-
<i>S. typhimurium</i>	-	-	-	20,5	-
<i>K. pneumoniae</i>	13,0	15,5	11,5	23,5	-
<i>E. coli</i>	-	-	-	16,5	-
<i>P. vulgaris</i>	-	-	-	-	-
<i>L. monocytogenes</i>	-	-	-	14,5	-
<i>Y.pseudotuberculosis</i>	-	-	-	22,5	-
<i>P. aeruginosa</i>	-	-	-	24,5	-
<i>S. epidermidis</i>	-	-	-	15,0	-
<i>S. aureus</i>	-	-	-	16,0	-
<i>E. cloacae</i>	-	-	-	-	-
<i>B. subtilis</i>	-	-	-	20,0	-

E., etanol ekstraktı, A.;aseton ekstraktı, H;hekzan ekstraktı, P.K.; Streptomisin, N.K.;DMSO

### 3.3. Antioksidan Aktivite

Çalışma yapılan *H. glabra* bitkisinin, hekzan, etanol ve aseton ekstraktlarının DPPH radikal giderme aktiviteleri inhibisyon yüzdesi (%) olarak değerlendirilmiştir. Sonuçlar pozitif kontrol olarak kullanılan BHA'nın DPPH radikal giderme aktivitesi ile karşılaştırılmıştır. Test edilen bitkinin DPPH radikal giderme aktivitesi ve standart (kontrol) olarak kullanılan BHA ile karşılaştırılması Şekil 2 'de % inhibisyon olarak gösterilmektedir. Tüm bitkilerin kontrole karşı DPPH radikal giderme aktiviteleri inhibisyon yüzdesi (%) olarak değerlendirildiğinde kontrol ve bitki ekstraktların aktivite sıralamasının; BHA>Aseton> Etanol>Hekzan şeklinde olduğu görülmektedir. İnhibisyon yüzdesi (%) verilerine göre; standart BHA'ya en yakın DPPH radikal giderme aktivitesi *H. glabra* bitkisinin aseton ekstraktında görülmüştür.



Şekil 2. Bitki ekstraktlarının ve standartın DPPH radikal giderme aktiviteleri.

Bitki ekstraktlarının ve BHA'nın DPPH inhibisyon yüzdesi (%) grafikleri kullanılarak IC<sub>50</sub> değeri 20-100 µg/ml konsantrasyonlarda belirlenmiştir. Hekzan ekstraktının 28,9343 µg/ml, etanol ekstraktının 24,1101 µg/ml, aseton ekstraktının 20,5610 µg/ml, BHA kontrol 4,3695 µg/ml olarak hesaplanmıştır. Yüzde inhibisyon (%) değerlerine göre BHA'nın DPPH radikal giderme aktivitesine en yakın IC<sub>50</sub> değeri, aseton ekstraktında 20,5610 µg/ml olarak görülmüştür. Standart olarak kullanılan BHA'ya en uzak IC<sub>50</sub> değeri ise *H. glabra* bitkisinin hekzan ekstraktında 28,9343 µg/ml olarak belirlenmiştir (Tablo 3).

Tablo 3. Bitki ekstraktlarının IC<sub>50</sub> değerleri.

	Hekzan Ekstraktı (µg/ml)	Etanol Ekstraktı (µg/ml)	Aseton Ekstraktı (µg/ml)	BHA (µg/ml)
IC <sub>50</sub>	28,9343	24,1101	20,5610	4,3695

### 3.4. Toplam Fenolik Bileşen Analizi

Bitki ekstraktlarının toplam fenolik bileşen miktarları Folin-Ciocalteu kimyasal indirgeme metodu ile belirlenmiş olup, Gallik asit ekvivalenti (GAE, µg/ml) olarak ifade edilmiştir. *H. glabra* bitkisi için hekzan ekstraktının toplam fenolik bileşen içeriği 1,72 ± 0,0031 µg/ml; etanol ekstraktı için 5,96 ± 0,0280 µg/ml; aseton ekstraktı için 6,25 ± 0,0012 µg/ml şeklinde belirlenmiştir. Bitki ekstraktlarının fenolik bileşen içeriklerinin sırasıyla aseton>etanol>hekzan ekstraktı şeklinde olduğu belirlenmiştir. Bitkilerin toplam fenolik bileşen içerikleri Tablo.4'te verilmiştir.

Tablo 4. Bitki ekstraktlarının toplam fenolik bileşen içerikleri.

Bitki	Hekzan Ekstraktı (µg/ml)	Etanol Ekstraktı (µg/ml)	Aseton Ekstraktı (µg/ml)
<i>Herniaria glabra L.</i>	1,72 ± 0,0031	5,96 ± 0,0280	6,25 ± 0,0012

## 4. Sonuç

İnsan sağlığı üzerindeki olumlu etkileri ve zararlı mikroorganizmalar üzerindeki öldürücü özellikleri bakımından bitkiler, son yüzyılda birçok araştırmacı için ilgi odağı olmuştur. *Herniaria glabra*, saponin (Bukharov ve Shcherbak, 1970; Kartnig ve Wegschaider, 1972; Schröder ve ark., 1993; Freiler ve ark., 1996; Gruenwald ve ark., 2000; Mabrouki ve ark., 2014) flavonoid (Males, ve ark., 2013), fenolik asit (Gruenwald ve ark., 2000; Wojnicz ve ark., 2012) ve tanin (Gruenwald ve ark., 2000) gibi farmakolojik açıdan önemli bileşikler içerir (Al-Snafi, 2018). İçerdiği moleküller sayesinde tansiyon düşürücü (Rhiauani ve ark., 2001), idrar söktürücü (Rhiauani ve ark., 1999), antiürolitik (Crescenti ve ark., 2015), antimikrobiyal (Wojnicz ve ark., 2012; Skariyachan ve ark., 2014), böcek öldürücü (Mallick ve Banerji, 1989; Mahapatra ve ark., 2009) ve antioksidan (Nikolova ve ark., 2011) etkilere sahip olduğu bilinmektedir (Al-Snafi, 2018). Kozachok ve arkadaşları, *H. glabra* bitkisinin Polonya, Çek Cumhuriyeti, Avusturya, Macaristan ve Balkanlar'daki farmakopelerde resmi olarak mevcut olduğunu, geleneksel olarak böbrek ve mesane taşları, idrar kesesi enfeksiyonları, böbrek hastalığı, diyabet tedavisinde, fitik tedavisi, hipertansiyon, romatizma ve dışarıdan antiseptik ve cilt yumuşatıcı olarak uygulandığı belirtilmektedir (Kozachok ve ark., 2016). Türkiye'nin hemen her bölgesinde doğal olarak yetişen *H. glabra* ülkemizde de mesane kramplarının tedavisinde, böbrekler ve mesanedeki taş ve kumların düşürülmesinde, bununla birlikte, iltihapları önleyici, idrar yollarını dezenfekte edici, idrar söktürücü ve kasık yırtılmasına karşı tedavi amacıyla kullanılmaktadır (Kozachok ve ark., 2016; Al-Snafi, 2018).

Bu çalışmada *H. glabra* bitkisine ait ekstraktlardan sırasıyla; Aseton (%2,4476)>Etanol (%2,0762)>Hekzan (%0,6000) olmak üzere verim sağlanmıştır. Ardından yapılan antibakteriyel test sonuçlarına göre aseton, etanol ve hekzan ekstraktlarının *K. pneumoniae* bakterisine karşı aktivite gösterdiği bulunmuştur. *H. glabra* bitkisinin antibakteriyel özelliğine dair çalışmalar oldukça sınırlı olmakla birlikte yapılan bir çalışmada *H. glabra* bitkisinden izole edilen Herniarin molekülünün çoklu antibiyotik direnci gösteren *Salmonella typhi*, *Staphylococcus aureus* ve *Vibrio cholera* patojenlerine karşı inhibisyon aktivitesi değerlendirilmiş ve *V. cholera* bakterisine karşı başarılı bir inhibisyon aktiviteye sahip olduğu tespit edilmiştir (Skariyachan ve ark., 2014). Yine farklı bir çalışmada, *H. glabra* bitki ekstraktlarının üropatolojik *Escherichia coli* bakterisi üzerine inhibisyon aktivitesi değerlendirilmiş ve antibiofilm etkinliği ile güçlü bir inhibisyon aktivitesi gösterdiği tespit edilmiştir (Wojnicz, ve ark., 2012). Bu çalışmada ise *H. glabra* bitki ekstraktlarının çalışılan *E. faecalis*, *S. aureus*, *S. epidermidis*, *S. typhimurium*, *P. vulgaris*, *Y. pseudotuberculosis*, *P. aeruginosa*, *E. cloaceae*, *E. coli*, *L. monocytogenes* ve *B. subtilis* indikatör bakterilerine karşı inhibisyon aktiviteye sahip olmazken, ilk kez

*K. pneumoniae* bakterisine karşı yüksek inhibisyon aktivite gösterdiği tespit edilmiştir.

Bu çalışmada, DPPH radikal süpürücü etkisi ile belirlenen antioksidan aktivite analizleri sonucunda IC<sub>50</sub> değerleri; hekzan ekstraktının 28,9343 µg/ml, etanol ekstraktının 24,1101 µg/ml, aseton ekstraktının 20,5610 µg/ml olarak bulunmuştur. Yapılan bir çalışmada ise *H. glabra* bitkisinin metanol ekstraktının IC<sub>50</sub> değerinin >200 µg/ml belirlenmiş ve bu çalışmada elde edilen sonuçlar ile kıyaslandığında antioksidan aktivitesinin oldukça düşük olduğu görülmüştür (Nikolova ve ark., 2011). Bitkilerin antioksidan etkilerinin öncelikli olarak türe, hasat zamanına, gelişme ortamının çevresel ve ekolojik özelliklerine bağlı olarak değişiklik göstermektedir (Richheimer ve ark., 1996; Başer, 2002; Çoban ve Patır, 2010; Deveci ve ark., 2016). Bu bağlamda, Nikolova ve arkadaşlarının yaptığı çalışma sonucu değerlendirildiğinde, Bolu çevresinde yayılım gösteren *H. glabra* bitkisinin daha yüksek antioksidan kapasiteye sahip olduğu söylenebilmektedir (Wojnicz ve ark., 2012).

Bu çalışmada *H. glabra* bitkisi için toplam fenolik bileşen içeriği hekzan ekstraktının % 0.172, etanol ekstraktının % 0.596, aseton ekstraktının % 0.625 şeklinde bulunmuştur. Bu çalışmada tespit edilen verilere paralel sonuç elde edilen farklı bir çalışmada, *H. glabra* bitkisinin fenolik bileşen içeriğinin % 0.34 olduğu bildirilmiştir (Males ve ark., 2013).

Antibakteriyel, antioksidan aktivite ve toplam fenolik bileşen içeriklerinin belirlenmesi için yapılan çalışmalar sonucunda, *H. glabra* bitki ekstraktlarının *K. pneumoniae* patojenine karşı antibakteriyel aktiviteye sahip olduğu belirlenmiştir. Bitkinin toplam fenolik bileşen ve antioksidan aktivite sonuçları karşılaştırıldığında, aralarında korelasyon olduğu belirlenmiştir. Ve daha önce yapılan çalışmalar ile kıyaslandığında daha yüksek fenolik bileşen içeriğine ve daha yüksek antioksidan kapasiteye sahip olduğu söylenebilmektedir. *Herniaria glabra* L. bitkisinin farmakolojik çalışmalarda kullanım potansiyelinin olduğu, ancak daha detaylı çalışmaların yapılması gerektiği öngörülmektedir.

## 5. Teşekkür

Bu çalışma '*Herniaria glabra* L. Bitkisinin Biyolojik Aktivitesinin Belirlenmesi' başlıklı yüksek lisans tezinden üretilmiştir. Bitkinin tanımlanmasını gerçekleştiren Düzce Üniversitesi, Tarımsal Biyoteknoloji Bölümü Öğretim Üyesi Dr. Didem AMBARLI'ya teşekkürlerimizi sunarız.

## Kaynakça

- Abad, C. L., Kumar, A. & Safdar, N. (2011). Antimicrobial therapy of sepsis and septic shock—when are two drugs better than one?. *Critical Care Clinics*, 27, 1-27.
- Ağaoğlu, S., Dostbil, N. & Alemdar, S. (2005). The antibacterial efficiency of some herbs used in herby cheese. *Yüzcüncü Yıl Üniversitesi Veterinerlik Fakültesi Dergisi*, 16, 39-41.
- Al-Snafi, A. E. (2018). Pharmacological importance of *Herniaria glabra* and *Herniaria hirsuta*. *Indo American Journal of Pharmaceutical Sciences*, 5, 2167-2175.
- Andrade, B. F. M. T., Barbosa, L. N., Probst I. S. & Junior, A. F. (2014). Antimicrobial activity of essential oils. *Journal of Essential Oil Research*, 26, 34-40.
- Ardağ, A. (2008). Antioksidan kapasite tayin yöntemlerinin analitik açıdan karşılaştırılması. Yüksek lisans tezi, Analitik

- Anabilim Dalı, Fen Bilimler Enstitüsü, Adnan Menderes Üniversitesi, Aydın.
- Başer, K. H. C. (2002). Fonksiyonel Gıdalar ve Nutrasötikler. 14. Bitkisel İlaç Hammaddeleri Toplantısı Bildiriler.
- Bayram, E., Kırıcı, S., Tansı, S., Yılmaz, G., Arabacı, O., Kızıl, S. & Telci, İ. (2010). Tıbbi ve aromatik bitkiler üretiminin artırılması olanakları. TMMOB, Ziraat Mühendisleri Odası 7. Teknik Kongresi, Ankara.
- Bayramoğlu, M. M. & Toksoy, D. (2008). Aktarlar ve tıbbi bitki ticareti üzerine bir araştırma (Doğu Karadeniz Bölgesi örneği). *Orman Mühendisliği Dergisi*, 4, 34-39.
- Berber, İ., Avşar, C., Çine, N., Bozkurt, N. & Elmas, E. (2013). Sinop'da yetişen bazı bitkilerin metanolik ekstraktlarının antibakteriyel ve antifungal aktivitelerinin belirlenmesi. *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi*, 3, 10-16.
- Birman, H. (2012). Bitkisel flavonoid bileşiklerinin biyoaktiviteleri ve muhtemel etki mekanizmaları. *İstanbul Üniversitesi Tıp Fakültesi Dergisi*, 75, 46-49.
- Bukharov, V. G. & Shcherbak, S. P. (1970). Triterpene glycosides of *Herniaria glabra* L. *Chemistry of Natural Compounds*, 6, 308-311.
- Cohen, M. L. & Tauxe, R. V. (1986). Drug-resistant Salmonella in the United States: an epidemiological perspective. *Science*, 234, 964-969.
- Crescenti, A., Puiggròs, F., Colomé, A., Poch, J. A., Caimari, A., Bas, J., Boqué N. & Arola, L. (2015). Antiurolihtiasic effect of a plant mixture of *Herniaria glabra*, *Agropyron repens*, *Equisetum arvense* and *Sambucus nigra* [Herbensurina®] in the prevention of experimentally induced nephrolithiasis in rats. *Archivos Españoles de Urología*, 68, 739-749.
- Çoban, Ö. E. & Patır, B. (2010). Antioksidan Etkili Bazı Bitki ve Baharatların Gıdalarda Kullanımı. *Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 5, 7-19.
- Deveci, H. A. Nur, G. Kırpık, M. A. Harmanakaya A. & Yıldız, Y. (2016). Fenolik Bileşik İçeren Bitkisel Antioksidanlar. *Kafkas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9, 26-32.
- Dorman, H. J. D. & Deans, S. G. (2000). Antimicrobial agents from plants: antibacterial activity of plant volatile oils. *Journal of Applied Microbiology*, 88, 308-316.
- El Mabrouki, H., Kaukhova, I. Y., Sorokin, V. V. & Minina, S. A. (2014). The development technique of quantitative definition saponins in the grass *Herniaria glabra* L. *Belgograd State University Scientific Bulletin: Medicine, Pharmacy*, 28(24); 235-238.
- Erdoğan, A. E. & Everest, A. (2013). Antimikrobiyal ajan olarak bitki bileşenleri. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, 6, 27-32.
- Faydaoğlu, E. & Sürücüoğlu, M. S. (2013). Tıbbi ve aromatik bitkilerin antimikrobiyal antioksidan aktiviteleri ve kullanım olanakları. *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 6, 233-265.
- Fey, P. D., Safranek, T. J., Mark, M. D., Rupp, E., Eileen, M. D., Dunne, F., Ribot, M. P. H., Iwen, P. C., Patricia, M. S. Bradford, A., Angulo, F. J. & Hinrichs, S. H. (2000). Ceftriaxone-Resistant Salmonella Infection Acquired by a Child from Cattle. *The New England Journal of Medicine*, 342, 1242-1249.
- Freiler, M., Gottfried, R., Jurenitsch, J. & Reiner, J. (1996). New triterpene saponins from *Herniaria glabra*. *Helvetica Chimica Acta*, 79, 385-390.
- Frost, I. Phil, D. Boeckel, T. P. V. Pires, J. Craig, J. & Laxminarayan, R. (2019). Global geographic trends in

- antimicrobial resistance: the role of international travel. *Journal of Travel Medicine*, 1, 1-13.
- Gruenwald, J., Brendler, T. & Jaenicke, C. (2000). PDR for Herbal Medicines. Medical Economics Company, Montvale, 650.
- Ignat, I., Volf, I. ve Popa, V. I. (2011). A critical review of methods for characterisation of polyphenolic compounds in fruits and vegetables. *Food Chemistry*, 126, 1821-1835.
- Karasu, K. & Öztürk, E. (2014). Tıbbi ve aromatik bitkilerin kanatlılarda antioksidan ve antimikrobiyal etkileri, *Türk Tarım Ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 2, 1766-1772.
- Kartnig, T. & Wegschaider, O. (1972). Saponins from *Herniaria glabra*. *Planta Medica*, 21, 144-149.
- Khanal, S., Bhandari, D. P., Bhandari, L., Dangol, S. & Adhikari, A. (2020). Chemical profiling and antioxidant activities of essential oil from the rhizomes of *Acorus calamus* L. *Bibechana*, 17, 89-95.
- Knowles, D. J. C. (1997). New strategies for antibacterial drug design. *Trends in Microbiology*, 5, 379-383.
- Koerner, R. M. (2016). Long-term geotextile degradation mechanisms and exposed lifetime predictions. *Geotextiles*, 1, 217-236.
- Kozachok, S., Marchyshyn, S., Ostapchuk, A. & Zavyalova, L. (2016). Monosaccharide composition of *Herniaria glabra* L. and *Herniaria polygama*. *J. Gay. Current Issues in Pharmacy and Medical Sciences*, 29(3), 142-144.
- Lancini, G. & Lorenzetti, R. (1993). Biotechnology of antibiotics and other bioactive microbialmetabolites, 6th. Edition, New York: Plenum Press,
- Levin, B. R., Lipsitch, M., Perrot, V., Schrag, S., Antia, R., Simonsen, L., Walker, N. M. & Stewart, F. M. (1997). The population genetics of antibiotic resistance. *Clinical Infectious Diseases*, 1, 9-16.
- Lis-Balchin, M. & Deans, S. G. (1997). Bioactivity of selected plant essential oils against *Listeria monocytogenes*. *Journal of Applied Microbiology*, 82, 759-762.
- Mahapatra, B. S., Mitra, S., Ramasubramanian, T. & Sinha, M. K. (2009). Research on jute [*Corchorus olitorius* and *C. capsularis*] and kenaf [*Hibiscus cannabinus* and *H. sabdariffa*]: present status and future perspective. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 79, 951-967.
- Males, Z., Crkvencici, M., Pilepici, K. H. & Herenda, F. (2013). Investigation of flavonoids, phenolic acids and amino acids of smooth rupturewort-*Herniaria glabra* L. *Farmaceutski Glasnik* 69(11), 673-684.
- Mallick, R. N. & Banerji, A. (1989). Insecticidal effect herniarin, a constituent of *Herniaria glabra* against the jute semilooper, *Anomis sabulifera* Guen. *Science and Culture*, 55, 211-213.
- Nikolova, M. Evstatieva, L. & Nguyen, T. D. (2011). Screening of plant extracts for antioxidant properties. *Botanica Serbica*, 35, 43-48.
- Okan, O. T., Varlıbaş, H. Öz M. & Deniz, İ. (2013). Antioksidan analiz yöntemleri ve Doğu Karadeniz Bölgesinde antioksidan kaynağı olarak kullanılabilir odun dışı bazı bitkisel ürünler. *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 13, 48-59.
- Prior, R. L., Wu, X. & Schaich, K. (2005). Standardized methods for the determination of antioxidant capacity and phenolics in foods and dietary supplements. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53, 4290-4302.
- Rhiouani, H., Lyoussi, B., Settaf, A., Cherrah, Y. & Hassar, M. (2001). Antihypertensive effect of *Herniaria glabra* saponins in the spontaneously hypertensive rat. *Annales Pharmaceutiques Françaises*, 59, 211-214.
- Rhiouani, H., Settaf, A., Lyoussi, B., Cherrah, Y., Lacaille-Dubois, M. A. & Hassar, M. (1999). Effects of saponins from *Herniaria glabra* on blood pressure and renal function in spontaneously hypertensive rats. *Therapie*, 54, 735-739.
- Richheimer, S. L., Bernart, M. W., King, G. A., Kent, M. C. & Bailey, D. T. (1996). Antioxidant activity of lipidsoluble phenolic diterpenes from rosemary, *Journal of the American Oil Chemists Society*, 73, 507-514.
- Schröder, H., Schubert-Zsilavec, M., Reznicek, G., Cart, J., Jurenitsch, J. & Haslinger, E. (1993). A triterpene saponin from *Herniaria glabra*. *Phytochemistry*; 34, 1609-1613.
- Sıcak, Y. Çolak, Ö. F., İlhan, V., Sevindik, E. & Alkan, N. (2013). Köyceğiz yöresinde halk arasında yaygın olarak kullanılan bazı tıbbi ve aromatik bitkiler. *Anadolu Doğa Bilimleri Dergisi*, 4, 70-77.
- Skariyachan, S., Jayaprakash, N., Bharadwaj, N. & Narayanappa, R. (2014). Exploring insights for virulent gene inhibition of multidrug resistant *Salmonella typhi*, *Vibrio cholerae*, and *Staphylococcus aureus* by potential phytoligands via in silico screening. *Journal of Biomolecular Structure and Dynamics*, 32, 1379-1395.
- Sökmen, B. B., Uğraş, S., Sarıkaya, H. Y., Uğraş, H. I. & Yanardağ, R. (2013). Antibacterial, antiurease and antioxidant activities of some Arylidene barbiturates. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 171, 2030-2039.
- Şahin, B. (2013). Farklı ekim zamanlarında yetiştirilen bazı tıbbi bitkilerin verim ve kalite özelliklerinin belirlenmesi. Yüksek lisans tezi, Tarla Bitkileri Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Selçuk Üniversitesi, Konya.
- Wojnicz, D., Kucharska, A. Z., Sokól-Letowska, A. Kicia M. & Tichaczek-Goska, A. (2012). Medicinal plants extracts affect virulence factors expression and biofilm formation by the uropathogenic *Escherichia coli*. *Urological Research*, 40, 683-697.
- Yeşilbaş, D. (2007). Fitobiyotikler. *Journal of Research in Veterinary Medicine*, 26, 33-39.



# Karaman İlinin Tarımsal Mekanizasyon Özellikleri

Yusuf Dilay<sup>1\*</sup>, Adem Özkan<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Karaman, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-5365-5137), [ydilay@kmu.edu.tr](mailto:ydilay@kmu.edu.tr)

<sup>2</sup> Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Karaman, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-3043-0338), [aozkan@kmu.edu.tr](mailto:aozkan@kmu.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 13 Temmuz 2021 ve Kabul Tarihi 22 Kasım 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.970783)

**ATIF/REFERENCE:** Dilay, Y. & Özkan, A. (2021). Karaman İlinin Tarımsal Mekanizasyon Özellikleri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (27), 761-767.

## Öz

Bu araştırmada, Karaman ilinin 2010-2020 yılları arasındaki tarımsal mekanizasyon özelliklerinin ortaya konulması amaçlanmıştır. Literatür çalışmaları ile elde edilen veriler ve yapılan istatistiksel hesaplamalar ile belirtilen dönemde, ilde mevcut traktör, biçerdöver ve tarım makineleri sayıları yardımıyla, bazı tarımsal mekanizasyon seviyesi gösterge değerleri bulunmuştur. 2010 ve 2020 yıllarına ait veriler sırasıyla; ortalama traktör gücü 34.78 kW ve 34.64 kW, işlenen alana düşen traktör gücü 1.57 kW ha<sup>-1</sup> ve 1.31 kW ha<sup>-1</sup>, 1000 ha alana düşen traktör sayısı 45.24 ve 37.96 adet, 1000 ha alana düşen biçerdöver sayısı 0.42 ve 0.47 adet, traktör başına işlenen alan 27.40 ve 27.66 ha, biçerdöver başına işlenen alan 2365.00 ha ve 2096.77 ha olarak bulunmuştur. Çalışmanın sonucunda hesaplanan değerler; bölge ve Türkiye geneline ait rakamlarla karşılaştırılarak, Karaman tarımının tarımsal mekanizasyon seviyesinin durumu ve iyileştirilmesi için yapılması gereken hususlara yer verilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Karaman, Tarımsal Mekanizasyon Düzeyi, Tarım Makineleri, Traktör.

## Properties of Agricultural Mechanization of the Karaman Province

### Abstract

In this research, it was aimed to reveal the agricultural mechanization characteristics of Karaman province between the years 2010-2020. With the help of the data obtained from the literature studies and the statistical calculations made, some agricultural mechanization level indicator values were found with the help of the number of tractors, combine harvester and agricultural machinery available in the province in the specified period. Data for 2010 and 2020, respectively; the average tractor power is 34.78 kW and 34.64 kW, the tractor power per cultivated area is 1.57 kW ha<sup>-1</sup> and 1.31 kW ha<sup>-1</sup>, the number of tractors per 1000 ha is 45.24 and 37.96, the number of combine harvester per 1000 ha is 0.42 and 0.47, per tractor areas of 27.40 and 27.66 hectares, 2365.00 hectares and 2096.77 hectares per harvester. The values calculated as a result of the study; the situation of the agricultural mechanization level of Karaman agriculture and the issues that need to be done for improvement are given by comparing the figures of the region and Turkey in general.

**Keywords:** Karaman, Agricultural Mechanization Level, Agricultural Machinery, Tractor.

\* Sorumlu Yazar: [ydilay@kmu.edu.tr](mailto:ydilay@kmu.edu.tr)

## 1. Giriş

Tarımsal mekanizasyon, tarımsal üretim yapılan işletmelerde kullanılan ilkel tarım tekniklerinin yerine, gelişmiş alet ve ekipmanlar kullanılarak, modern tarım yapmak olarak tanımlanabilir. Böylece, iş gücünden tasarruf yapılarak üretimde verim artışı sağlamak mümkün olabilmektedir (Akar ve ark., 2012). Dünya genelinde ülkelerin tarımsal gelişmişlik seviyeleri bazı tarımsal mekanizasyon kriterleri ile ölçülmektedir. Literatürde çok sayıda kriterler mevcuttur. Ülkeler kendi tarımsal yapılarına uygun olan kriterleri kullanarak tarımsal mekanizasyon seviyelerini belirlemişlerdir. Türkiye’de tarımsal mekanizasyon düzeyinin belirlenmesinde kullanılan bazı kriterlerin, dünya ortalamasının üzerinde olmasına rağmen, gelişmiş ülkelerin düzeylerinden de daha düşük seviyede kaldığı görülmektedir (Altuntaş ve Aslan, 2009).

Modern tarımın ayrılmaz bir bileşeni olan tarımsal mekanizasyon, yatırım maliyetinin yüksek olması ve uzun süreli yatırımlar gerektirmesine bağlı olarak iyi bir planlamaya gereksinim duyulmaktadır. Bu planlamanın verimli bir şekilde yapılabilmesi için ülkesel veya bölgesel olarak tarımsal mekanizasyon durumunun ortaya konulması gerekmektedir (Baydar ve Yumak, 2000; Bayram ve Altuntaş, 2016). Günümüze kadar tarımsal mekanizasyon düzeyleri bakımından Türkiye geneli, bölgeleri ve farklı illere yönelik pek çok çalışma yapılmıştır (Tezer, 1980; Koçtürk ve Avcioğlu, 2007; Altuntaş ve Aslan, 2009; Cankurt ve Miran, 2010; Altıkaynak ve Çelik, 2013; Eryılmaz ve ark., 2013; Yeşilyurt ve ark., 2013; Bozkurt ve Aybek, 2016; Comart ve Akıncı, 2017; Aslantürk ve Aslantürk, 2018; Yılmaz ve Sümer, 2018; Mavioğlu ve Çobanoğlu, 2019; Abdikoğlu, 2019; Aygün ve Gürsoy, 2020; Aybek ve ark., 2021). Bununla birlikte gelişen teknolojik yeniliklerin tarımsal mekanizasyon araçlarında ve traktörlerde kullanımı gittikçe yaygın hale gelmektedir. Özellikle toprak işleme, ekim ve hasat-harman makinelerinde bilgisayar destekli sistemlerin kullanımı, tarımın daha verimli hale gelmesini sağlamaktadır. Ekim makinelerinde tohumların kamera ile izlenmesi mümkün olurken (Çelik ve Tekin, 2020), led aydınlatma sistemleri ile ürün verim ve kalitesi artırılmaktadır (Bayhan ve Avcı, 2019). Tarımsal savaş mekanizasyonunda ise, nesne tanıma özelliklerine sahip robotlar kullanılarak, gereksiz kimyasal kullanımının önlenmesi sağlanmaktadır (Özgen ve Turan, 2020).

Bu çalışmada, Karaman ilinin biçerdöver, traktör, tarımsal alet-makinelerinin mevcut durumu yapılan literatür çalışmaları ile ortaya konularak, uluslararası kabul edilen bazı kriterlere göre hesaplanan ilin tarımsal mekanizasyon düzeyi gösterge değerleri bulunmuştur. Araştırma sonuçlarına göre, Karaman ilinin mekanizasyon düzeyi Türkiye’nin bazı illeri ve bölgeleri ile kıyaslandığında genellikle daha düşük değerlerde olduğu görülmüştür. Araştırma sonuç ve öneriler kısmında ise, mekanizasyon düzeyinin artırılması için yapılması gerekenlere yer verilmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

Karaman, İç Anadolu Bölgesi’nde yer alan ekonomisi tarım ve tarıma bağlı sanayi sektörüne dayanan bir Anadolu kentidir. TÜİK (2021) verilerine göre, il nüfusu 254919 ve yüzölçümü 8678 km<sup>2</sup>’dir (Tablo 1). İlde km<sup>2</sup>’ye 29 kişi düşmektedir (Anonim,

2021a). Karaman’da, karasal iklimin hüküm sürdüğü Ayrancı ve Kazımkarabekir ilçeleri ile ılıman Akdeniz ikliminin hüküm sürdüğü Ermenek, Başyayla ve Sarıveliler ilçelerinde bitki türleri iklime ve bölgeye bağlı olarak çeşitlilik göstermektedir.

Tablo 1. Karaman il ve ilçelerinin 2020 yılı nüfus ve yüzölçümü değerleri (Anonim,2021b).

İlçe	Nüfus	Yüzölçümü (km <sup>2</sup> )
Ayrancı	7946	2245
Başyayla	3608	141
Ermenek	28417	1242
Kâzımkarabekir	3956	423
Merkez	199482	4036
Sarıveliler	11510	590
<b>Toplam</b>	<b>254919</b>	<b>8678</b>

İç Anadolu bölgesinin güneyinde yer alan Karaman, 37°-11' kuzey enlemi; 33°-13' doğu boylamları arasında yer almaktadır. Güneyinde Mersin ve Antalya, batı, kuzey ve doğusunda Konya ile komşudur (Şekil 1). İl Merkezinin deniz seviyesinden yüksekliği 1.033 m’dir (Anonim, 2021a).



Şekil 1. Karaman ili haritası

Geniş bir alanına sahip olan Karaman’da tarım yapılabilen alanların %37’si tarla tarımına elverişli iken, %23’ü ise, çayır mera arazilerinden oluşmaktadır (Anonim, 2021a).

Yapılan literatür taramalarında, ulusal ve uluslararası alanlarda bir bölge veya bir ülkenin mekanizasyon düzeyinin belirlenmesinde pekçok yöntemden yararlanılmaktadır. Bu yöntemlerden en çok tercih edilenleri; birim alana düşen traktör gücü (kW/ha) ve adedi (traktör/1000 ha) ile traktör başına düşen tarım alanı (ha/traktör)’dir. Ayrıca, traktör başına düşen tarım makinesi ağırlığı, tarımda kullanılan enerji çeşitliliği, traktör kullanma süreleri ve üreticilerin traktör alım gücü gibi kriterler, tarımsal mekanizasyon seviyesinin belirlenmesinde zaman zaman kullanılmıştır (Pınar ve ark., 1994; Ülger ve ark. 2002; Işık ve ark., 2003; Sessiz ve ark., 2006; Arıöz, 2007; Yıldız ve ark., 2007; Koçtürk ve Avcioğlu, 2007; Lüle ve ark. 2012; Bilim ve ark.,2014).

Bu çalışmada kullanılan, tarım alanları, traktör güçleri, traktör, tarım makineleri ve biçerdöver sayıları gibi veriler, Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) kayıtlarından alınmıştır (Anonim, 2021b). Ayrıca Karaman Valiliği, Karaman Ziraat Odası verilerinden de faydalanılmıştır. Elde edilen veriler, tablolarla özetlenmiş ve ilin tarımsal mekanizasyon seviyesi

hesaplanmıştır. Hesaplamalarda ekili ve nadas alanlarının toplamı, toplam tarım alanlarını oluşturmaktadır. Traktör sayıları ilgili hesaplamalarda ise, yalnızca pnömatik tekerlekli traktörler dikkate alınarak hesaplama yapılmıştır. Bu amaçla, traktörler öncelikle tek akslı ve çift akslı olarak sınıflandırılmış, sonrasında her iki sınıfa giren traktörler, güç değerleri dikkate alınarak yeniden gruplandırılmıştır (Tablo 2). Traktör güç değerleri beygir gücü cinsinden verilmiş olup, 1.36'ya bölünerek kW'a dönüştürülmüştür. Tarım alet ve makina sayıları ise, traktörle çalıştırılan alet ve makinalardan oluşmaktadır (Tablo 3), (Aybek ve ark., 2021).

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Karaman ilinde geçmiş yıllara ait biçerdöver, traktör ve tarımsal alet-makineler sayıları tablolarda verilmiştir. Tablo 2'de ilin 2010-2020 yılları arasındaki traktör parkı verilmiştir. Tablo 2'ye göre; 2010 yılında toplam traktör sayısı 11983 adet olduğu, 2020 yılında ise 12495 çıktığı görülmektedir. On bir yıllık

dönemde toplam traktör sayıları incelendiğinde, yıllara bağlı olarak artışların ve azalışların olduğu görülmektedir. 2010 ile 2020 yılları arasında tek akslı 0.74-3.68 kW gücündeki traktörlerin sayısının yaklaşık %503.03, tek akslı gücü 3.68 kW'ın üzerindeki traktörlerin sayısının %251.97, iki akslı 0.74-7.35 kW gücündeki traktörlerin sayısının %42.86 arttığı, 8.09-17.65 kW gücündeki traktörlerin sayısının %77.04 azaldığı, 18.38-25.00 kW gücündeki traktörlerin sayısının %43.53 azaldığı, 25.74-36.76 kW gücündeki traktörlerin sayısının %3.02 arttığını, 37.50-51.47 kW gücündeki traktörlerin sayısının %8.38 ve 51.47 kW'ın üzerindeki traktörlerin sayısının ise %22.63 arttığı görülmektedir. 2010 yılı ile 2020 yılları arasında çeşitli özelliklerde 512 yeni traktör, ilin makine parkına ilave olmuştur. Bu durum ilin mekanizasyon düzeyini olumlu etkilemiştir. 2011 ile 2012 yılları arasındaki traktör sayısındaki azalmanın sebepleri ise belirlenmemiştir. Traktör sayısındaki artışta, bankaların kredi imkânlarının iyileştirilmesi, yeni alet ve makinelerin eski traktörler ile kullanılmaması, işletmelerin yeniliklere açık olmasının etkili olduğu söylenebilir.

Tablo 2. Karaman ilinin 2010-2020 yılları arasında ait traktör adetleri (Anonim, 2021b)

Yıllar	Toplam	Tek Akslı (kW)		İki akslı (kW)					
		0.74-3.68	3.68+	0.74-7.35	8.09-17.65	18.38-25.00	25.74-36.76	37.50-51.47	51.47+
2010	11983	33	381	7	993	1468	3341	4333	1427
2011	11926	29	437	9	950	1430	3278	4345	1448
2012	9520	43	645	10	325	1032	3245	3627	593
2013	10369	168	1005	10	310	927	3370	3824	755
2014	11376	184	1094	10	282	889	3320	4242	1355
2015	11600	192	1091	11	283	891	3358	4364	1410
2016	11776	192	1112	11	274	892	3376	4469	1450
2017	12096	196	1119	10	268	891	3413	4629	1570
2018	12176	198	1116	9	260	888	3441	4653	1611
2019	12296	196	1288	10	226	850	3465	4624	1637
2020	12495	199	1341	10	228	829	3442	4696	1750

Tablo 3'de, yıllara bağlı olarak Karaman ili biçerdöver adetleri verilmiştir. Tablo 3 incelendiğinde 2010 yılında 112 adet olan biçerdöver adedi, 2020 yılında 157'ye yükselmiştir. 2010-2020 yılları arasındaki biçerdöver sayılarındaki değişime bakıldığında; 21 yaş ve üzeri biçerdöverler sayılarında azalma görülürken, diğer biçerdöver gruplarında ise, geçen 10 yıllık sürede artışlar görülmüştür.

Tablo 3. Karaman ilinin 2010-2020 yılları arasında ait biçerdöver adetleri (Anonim, 2021b).

Yıllar	Toplam	0-5 yaş	6-10 yaş	11-20 yaş	21 yaş ve üzeri
2010	112	18	34	36	24
2011	116	21	35	36	24
2012	125	26	38	38	23
2013	135	28	39	43	25
2014	142	32	41	44	25
2015	145	36	43	42	24
2016	150	41	44	42	23
2017	163	48	50	44	21
2018	164	51	51	42	20
2019	156	47	48	41	20
2020	157	49	49	40	19

Arıöz (2007) ise, Ağrı ilinde traktör sayısını 4556 olduğunu ve ilde hiç biçerdöver bulunmadığını bildirmiştir. Karaman ilindeki mevcut rakamlar ile karşılaştırıldığında Ağrı ilinin tarımsal mekanizasyon düzeyinin Karaman ilinden çok daha düşük kaldığı görülmektedir.

Karaman ilindeki 2010 ve 2020 yıllarındaki bazı tarım alet ve makineleri sayıları Tablo 4'de verilmiş olup, yıllara bağlı olarak değişim oranları verilmiştir. Veriler incelendiğinde, tarım aletleri ve makineleri sayılarında artışlar ve azalışlar olmuştur. Tablo 4'e göre; 15 tarım alet ve makinesi parkında azalma meydana gelirken, diğer alet ve makine parkında ise değişik oranlarda artışlar meydana gelmiştir. Tablo 4'e göre makine parkında en yüksek oranda azalış, -%94.44 ile yem dağıtma römorkunda tespit edilirken, bunu sırasıyla, orak makinesi (-%68.84) ve kulaklı anız pulluğu (-%47.16) izlemektedir. En yüksek artış ise %2300 ile çiftlik gübresi dağıtma makinesinde görülürken, bunu sırasıyla %1000 ile patates sökme makinesi ve %633.33 ile anıza ekim makinesi izlemiştir.



Tablo 4. Karaman ilinin 2010-2020 yılları arasına ait tarımsal üretimde kullanılan bazı alet-makine adetleri (Anonim, 2021b).

Tarım Alet ve Makineleri	2010	2020	Değişim (%)*
Kulaklı Pulluk	10927	9746	-10.81
Ark Açma Pulluğu	1923	1609	-16.33
Diskli Pulluk	872	859	-1.49
Diskli Anız Pulluğu	1975	1685	-14.68
Kulaklı Anız Pulluğu	2042	1079	-47.16
Toprak Frezesi (Rotovator)	2395	2150	-10.23
Kültivatör	7572	8463	11.77
Merdane	1447	1828	26.33
Diskli Tırmık	1283	1725	34.45
Dişli Tırmık	679	794	16.94
Kombi kürüm (Karma Tırmık)	106	207	95.28
Ot Tırmığı	240	362	50.83
Hububat Ekim Makinesi	4499	3962	-11.94
Kombine Hububat Ekim Makinesi	5671	5694	0.41
Çiftlik Gübresi Dağıtma Makinesi	2	48	2300.00
Kimyevi Gübre Dağıtma Makinesi	8399	7698	-8.35
Orak Makinesi	3039	947	-68.84
Biçer Bağlar Makinesi	9	40	344.44
Balya Makinesi	53	169	218.87
Tıraz Makinesi	49	67	36.73
Patates Sökme Makinesi	1	11	1000.00
Pancar Sökme Makinesi	1128	975	-13.56
Kombine Pancar Hasat Makinesi	216	408	88.89
Çayır Biçme Makinesi	224	339	51.34
Ot Silaj Makinesi	68	225	230.88
Mısır Silaj Makinesi	181	400	120.99
Mısır Hasat Makinesi	25	20	-20.00
Sap Parçalama Makinesi	17	77	352.94
Pülverizatör	6926	6532	-5.69
Tozlayıcı	14	25	78.57
Santrifüj Pompa	1975	1847	-6.48
Römork (Tarım Arabası)	13457	14078	4.61
Su Tankeri (Tarımda Kullanılan)	1256	1556	23.89
Dip Kazan (Subsoiler)	103	218	111.65
Rototiller	2264	2292	1.24
Taş Toplama Makinesi	5	25	400.00
Toprak Tesviye Makinesi	579	462	-20.21
Set Yapma Makinesi	6	22	266.67
Toprak Burgusu	105	179	70.48
Pnömatik Ekim Makinesi	190	1262	564.21
Üniversal Ekim Makinesi	85	145	70.59
Anıza Ekim Makinesi	3	22	633.33
Sap Toplamalı Saman Yapma Makinesi	1822	1951	7.08
Saman Aktarma-Boşaltma Makinesi	254	327	28.74
Yem Dağıtıcı Römork	18	1	-94.44
Kepçe (Tarımda Kullanılan)	108	390	261.11

\* Yazarlar tarafından hesaplanmıştır.

Türkiye İstatistik Kurumuna göre Karaman ilinin tarım alanı 2010 yılında toplam tarım alanı 264880.6 ha iken, 2020 yılında 329193.6 ha'dır (Tablo 5).

Tablo 5. Karaman İlinin 2010 ve 2020 yılına ait toplam tarım alanları miktarı (Anonim, 2021b).

Yıllar	Toplam Tarım Alanları (ha)
2010	264880.6
2011	267105.0
2012	316640.8
2013	337593.3
2014	342458.1
2015	338444.4
2016	333875.9
2017	331550.0
2018	330641.3
2019	327470.2
2020	329193.6

Çalışmada hesaplanan Karaman ilinin tarımsal mekanizasyon seviyesi ile ilgili bazı değerler Tablo 6 ve Tablo 7'de verilmiştir. Tablo 6'da Karaman ilinin traktör güç gruplarına göre traktör adetlerinin değişimi ve ortalama traktör güçlerine ait hesaplamalar yer alırken, Tablo 7'de ise, tarımsal mekanizasyon düzeyi ile ilgili hesaplanan bazı gösterge değerleri verilmiştir. Tablo 6'ya göre 2010 yılında toplam traktör gücü 416731.6 kW, 2020 yılında ise toplam traktör gücü 432864.3 kW'dır. Tablo 7'ye bakıldığında, 2010 yılında 45.24 olan traktör/1000 ha gösterge değeri, 2020 yılında 37.96 olmuştur. ha/traktör gösterge değeri, 2010 yılında 22.10 iken, 2020 yılında ise 26.35 olmuştur. Biçerdöver/1000 ha gösterge değeri 2010 yılında 0.42 iken 2020 yılında 0.47'ye yükselmiştir. ha/biçerdöver gösterge değeri 2010 yılında 2365.00'den 2096.77'ye düşmüştür. kW/ha gösterge değeri 2010 ile 2020 arasında 1.57'den 1.31'e düşmüştür. Ortalama traktör gücü ise 2010 yılı ile 2020 yılı arasında 34.78 kW'tan 34.64 kW'a düşmüştür.

Tablo 6. Karaman ilinin traktör güç gruplarına göre traktör adetlerinin değişimi ve ortalama traktör güçleri.

Güç Grupları (kW)									
Traktör Güçleri	0.74-3.68	3.68+	0.74-7.35	8.09-17.65	18.38-25.00	25.74-36.76	37.50-51.47	51.47+	
Ortalama Traktör Gücü	2,21	3,68	4,04	12,87	21,69	31,25	44,49	51,47	
Yıllar	Güç Gruplarına Göre Traktör Sayıları (Adet)								
2010	33	381	7	993	1468	3341	4333	1427	
2020	199	1341	10	228	829	3442	4696	1750	
Yıllar	Toplam Traktör Güçleri (kW)								
2010	72.79	1400.74	28.31	12777.57	31842.65	104406.25	192754.78	73448.53	
2020	438.97	4930.15	40.44	2933.82	17981.99	107562.50	208902.94	90073.53	
Yıllar	Toplam Traktör Gücü (kW)		Ortalama Traktör Gücü (BG)		Ortalama Traktör Gücü (kW)				
2010	416731.6		47.30		34.78				
2020	432864.3		47.11		34.64				

Tablo 7. Karaman ilinin tarımsal mekanizasyon düzeyi gösterge değerleri.

Yıllar	Mekanizasyon Düzeyi Göstergeleri*					
	Bıçerdöver/ 1000 ha	ha/ Bıçerdöver	Traktör/ 1000 ha	ha/ Traktör	kW/ ha	Ortalama Traktör Gücü (kW)
2010	0.42	2365.00	45.24	22.10	1.57	34.78
2020	0.47	2096.77	37.96	26.35	1.31	34.64

\* Yazarlar tarafından hesaplanmıştır.

Koçtürk ve Avcıoğlu (2007), yaptıkları çalışmalarında il bazında mekanizasyon düzeyini temsil eden bazı gösterge değerlerini bulmuşlardır. Çalışmada 2004 yılına ait Karaman'ın tarımsal mekanizasyon düzeyini gösteren bazı kriterlere yer verilmiştir (Tablo 8). Tablo 8 incelendiğinde ve 2020 yılında elde edilen bazı veriler ile kıyaslandığında traktör/1000 ha değerlerinin geçen 20 yıllık sürede küçük oranlarda pozitif değişim gösterdiği ancak ha/traktör ve kW/ha değerlerinde ise bir miktar düşüşler meydana geldiği görülmektedir.

Tablo 8. 2004 yılı Karaman ilinin tarımsal mekanizasyon seviyesi göstergeleri (Koçtürk ve Avcıoğlu, 2007).

Yıllar	Tarımsal Mekanizasyon Düzeyi Göstergeleri			
	Ekipman sayısı/ traktör	Traktör/ 1000 ha	ha/ Traktör	kW/ ha
2004	7.5	38.80	25.80	1.57

Tablo 9'da ise, 2018 yılı verilerine göre Karaman ilinin de dahil olduğu KOP Bölgesi tarımsal mekanizasyon düzeyini

#### 4. Sonuç

Karaman ilinin mekanizasyon düzeyi bazı faktörlere bağlı olarak 2010 ve 2020 yıllarında ayrı ayrı hesaplanmıştır. ha/bıçerdöver, traktör/1000 ha, ha/traktör, kW/ha ve ortalama traktör gücü değerlerinde 2010 ve 2020 yılları arasında yükseliş görülürken bıçerdöver/1000 ha değerlerinde ise azalış görülmüştür.

Yıllara göre değişen traktör parkının 2010-2012 yılları arasında azalma gösterdiği ancak 2013 yılından sonra lineer bir

gösteren bazı değerler verilmiştir (Malaslı ve ark., 2020). Tablo 9'da verilen değerler ile yapılan çalışmada elde edilen veriler karşılaştırıldığında, KOP Bölgesinin tarımsal mekanizasyon düzeyini gösteren bazı değerlerden daha düşük olduğu görülmektedir. Uulu ve Ögüt (2020) yaptıkları çalışmalarda, Orta Asya ülkelerinde tarımsal mekanizasyon düzeyini ifade eden bazı gösterge değerlerini bulmuşlardır. Buldukları sonuçlar Karaman ili mekanizasyon değerleri ile karşılaştırıldığında oldukça farklı olduğu görülmektedir. Örneğin Kazakistan için ha/traktör değeri 141.6 iken, Karaman için bu değer 2020 için, 26.35 olarak bulunmuştur.

Tablo 9. 2018 yılı KOP Bölgesi tarımsal mekanizasyon seviyesi göstergeleri (Malaslı ve ark., 2020).

Yıllar	Tarımsal Mekanizasyon Düzeyi Göstergeleri			
	Ortalama Traktör Gücü (kW)	Traktör/ 1000 ha	ha/ Traktör	kW/ ha
2018	38.91	40.09	24.94	1.56

artış gösterdiği, işletmelerde en fazla 37,50-51,47 kW gücünde traktörlerin tercih edildiği görülmüştür.

Yıllara göre değişen bıçerdöver parkının 2010-2020 yılları arasında 45 bıçerdöver artış gösterdiği, tarım alet ve makineleri sayılarına bakıldığında ise, bazı tarım aletleri ve makineleri sayılarında artışlar, bazılarında ise azalışlar görülmüştür.

Karaman ilinin 2010-2020 yılları arasında tarımsal mekanizasyon düzeyini gösteren temel kriterlerden olan; bıçerdöver/1000 ha, ha/bıçerdöver, traktör/1000 ha, ha/traktör,

kW/ha ve ortalama traktör gücü değerleri, KOP Bölgesinin 2018 yılı rakamları ile karşılaştırıldığında daha düşük olduğu görülmüştür. Benzer şekilde, Aybek ve ark. (2021), tarafından bildirilen 2019 yılı Türkiye geneli ortalama traktör gücü (37.88 kW) değerinin ve Karaman'ın da yer aldığı Batı Anadolu Bölgesi'nin ortalama traktör gücü değerlerinin (43,87 kW) de, 2020 yılı Karaman ili ortalama traktör gücü değerinden (34.64 kW) oldukça yüksek değerler olduğu görülmektedir. Çalışmalarında Karaman ilinin ortalama traktör gücü değerlerinin yalnızca Batı Karadeniz Bölgesi değerlerinden (34,41 kW) daha yüksek bulunmuştur. Gökdoğan (2014) ise, yaptığı çalışmasında, Hakkâri ilinde 2012 yılı ortalama traktör gücü değerini 31.88 kW olarak bulmuştur. Bu değer Karaman iline ait bulunan 2020 yılı değerinden daha düşük bir değerdir.

Eryılmaz ve ark. (2013), yaptıkları çalışmada 2012 yılı Nevşehir ili biçerdöver/1000 ha değerini 1.48 olarak bulmuşlardır. Bu değerde 2020 yılı Karaman ili biçerdöver/1000 ha değeri (0.47) ile kıyaslandığında yine oldukça yüksek bir değerde olduğu söylenebilir. İlde ağırlıklı olarak meyve üreticiliğinin yaygın olması, elma ve kiraz gibi meyvelerin özellikle hasadında mekanizasyon imkanlarının kısıtlılığı, işletmelerin küçük aile işletmeleri olmaları gibi nedenlerden dolayı, hesaplanan tarımsal mekanizasyon düzeyi gösterge değerlerinin düşük çıkmasına neden olduğu söylenebilir. Bununla birlikte çalışmada, ağırlıklı olarak mera hayvancılığı yapılan Ağrı, Hakkâri gibi diğer bazı kentlerin de tarımsal mekanizasyon düzeyinin düşük olduğu görülmüştür. Özellikle küçük aile işletmelerinin gelişen teknoloji ile birlikte modern traktör ve tarım makinelerini kullanmaları ile diğer işletmelerle rekabet edebilir seviyeye ulaşabilmelerini sağlayacaktır (Oğuz ve ark., 2017). Bu durumda buldukları bölgenin tarımsal mekanizasyon seviyesini de yükselmesine katkı vereceklerdir. Tarımsal mekanizasyon seviyesinin tarım kesiminin refah seviyesi ile yakından ilgili olduğu söylenebilir.

## Kaynakça

- Abdikoğlu, D. (2019). Trakya Bölgesinde Tarımsal Mekanizasyon Düzeyinin İllere Göre Belirlenmesi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 22 (6), 865-871. DOI: 10.18016/ksutarimdog.vi.548701
- Akar, M., Malaslı, M. Z., & Çelik, A. (2012). Hatay İlinin Tarımsal Mekanizasyon Özellikleri. 27. Tarımsal Mekanizasyon Ulusal Kongresi, 5-7.
- Altıkat, S., Altıkat, S., Çelik, A. (2013). Erzurum İlinin Mekanizasyon Özellikleri. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 40 (2), 57-70. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/ataunizfd/issue/3011/41810>
- Altuntaş, E., & Aslan, İ. (2009). Sivas ilinin tarımsal mekanizasyon düzeyinin 1997-2007 Yılları Arasındaki Değişiminin İncelenmesi. *Gazi Osman Paşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi* 26(2), 87-95.
- Anonim (2021a). Karaman Valiliği İl Tarım Müdürlüğü <http://karaman.tarimorman.gov.tr/> Erişim 18 Mart 2021.
- Anonim (2021b). Tarımsal İstatistik Verileri. T.C. Başbakanlık Devlet İstatistik Enstitüsü, <http://www.tuik.gov.tr/> Erişim 12 Haziran 2021.

- Ariöz, M. (2007). Ağrı ilinde tarım işletmelerinin tarımsal yapı ve mekanizasyon özellikleri Yüksek Lisans Tezi, *Ankara Üniversitesi*, Ankara.
- Aslantürk, B., Altuntaş, E. (2018). Malatya İlinin Tarımsal Mekanizasyon Düzeyi. *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi*, 7 (2), 15-26. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/gbad/issue/35699/344591>
- Aybek, A., Kuzu, H., Karadöl, H. (2021). Türkiye'nin ve Tarım Bölgelerinin Tarımsal Mekanizasyon Düzeyindeki Değişimlerin Son On Yıl (2010-2019) ve Gelecek Yıllar (2020-2030) için Değerlendirilmesi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 24 (2), 319-336. DOI: 10.18016/ksutarimdog.vi.747163 <http://dogadergi.ksu.edu.tr/tr/pub/issue/60203/747163>
- Aygün, M., Gürsoy, S. (2020). Antep Fıstığı (*Pistacia vera* L.) Üretimi Yapan İşletmelerin Tarımsal Mekanizasyon Düzeylerinin Belirlenmesi: Türkiye, Siirt İli Örneği. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*, 7 (2), 136-142. DOI: 10.19159/tutad.675257
- Baydar, S., & Yumak, H. (2000). Van ve Bitlis illerinin tarımsal mekanizasyon durumu ve sorunları üzerine bir araştırma. *Tarımsal Mekanizasyon*, 19, 1-2.
- Bayhan, Y., Avcı, Z. (2019). Örtü Altı Sebze Yetiştiriciliğinde Led Aydınlatma Sistemlerinin Bitki Gelişimine ve Verimine Etkisinin Belirlenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 86-95. DOI: 10.31590/ejosat.615444
- Bayram, M., Altuntaş, E. (2016). Tokat İli'nin 2003 ve 2013 Yılları için Mekanizasyon Özelliklerindeki Değişiminin İncelenmesi. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 12 (3), 213-220. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/tarmak/issue/35278/391544>
- Bilim, C., Korucu, T., Semerci, T. (2014). Gaziantep İlinin Tarımsal Mekanizasyon Özellikleri. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 17 (2), 14-23. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/ksudobil/issue/22841/243826>
- Bozkurt, M., Aybek, A. (2016). Şanlıurfa İli Harran Ovasının Tarımsal Yapı ve Mekanizasyon Özellikleri. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 19 (3), 319-331. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/ksudobil/issue/25008/264061>
- Cankurt, M., Miran, B. (2010). Aydın Yöresindeki Tarımsal İşletmelerin Mekanizasyon Durumu. *Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 7 (2), 93-101. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/aduziraat/issue/26427/278210>
- Comart, A., Akıncı, İ. (2017). Antalya İli Tarım İşletmelerinin Tarımsal Yapı, Üretim ve Mekanizasyon Özelliklerinin Belirlenmesi. *Mediterranean Agricultural Sciences*, 30 (3), 227-234. DOI: 10.29136/mediterranean.359840
- Çelik, A., Tekin, E. (2020). Hough Transform Görüntü İşleme Yöntemiyle Ekim Makineleri için Tohum Sayma Uygulaması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, EJOSAT Özel Sayı 2020 (ARACONF), 260-267. DOI: 10.31590/ejosat.araconf33
- Eryılmaz, T., Gökdoğan, O., Yeşilyurt, M., Ercan, K. (2013). Nevşehir İlinin Tarımsal Mekanizasyon Özellikleri. *Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 10 (2), 1-6. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/aduziraat/issue/26420/278142>
- Gökdoğan, O. (2014). Hakkâri İlinin Tarımsal Mekanizasyon Durumu. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 1 (1), 98-101. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/turkjans/issue/13306/160741>
- Işık, E., Güler, T., & Ayhan, A. (2003). Bursa İline İlişkin Mekanizasyon Düzeyinin Belirlenmesine Yönelik Bir

- Çalışma. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 17(2), 125-136.
- Koçtürk, D., & Avcıoğlu, A. (2007). Türkiye’de Bölgelere ve İllere Göre Tarımsal Mekanizasyon Düzeyinin Belirlenmesi. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 3(1), 17-24.
- Lüle, F., Koyuncu, T., Engin, K. E., (2012). Adıyaman İlinin Tarımsal Mekanizasyon Durumu. 27. Tarımsal Mekanizasyon Ulusal Kongresi, 5-7 Eylül, Samsun, s. 48-54.
- Malash, M. Z., Palta, Ç., & Argon, Z. Ü. (2020). Agricultural Mechanization Properties of KOP Region. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 8(4), 826-832.
- Mavioğlu, M, Çobanoğlu, F. (2019). İzmir Yöresindeki Üreticilerin Mekanizasyon Düzeylerinin Belirlenmesi Üzerine Bir Araştırma. *Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 16 (1), 19-26. DOI: 10.25308/aduziraat.456982
- Oğuz, C., Bayramoğlu, Z., Ağızan, S., & Ağızan, K. (2017). Tarım işletmelerinde tarımsal mekanizasyon kullanım düzeyi, Konya ili örneği. *Selcuk Journal of Agriculture and Food Sciences*, 31(1), 63-72.
- Özgen, H, Turan, M. (2020). Sulama/İlaçlama Robotu için Nesne Tanıma Çalışmaları. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, EJOSAT Özel Sayı 2020 (HORA)*, 50-58. DOI: 10.31590/ejosat.779052
- Pınar Y, Beyhan M A, Koyuncu T, Sessiz A, Tekgüler A (1994). Karadeniz Bölgesinde Mekanizasyon Düzeyinin Gelişimi ve Sorunları. *OMÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 9(1): 104-114.
- Sessiz A, Turgut M M, Pekitkan F G, Esgici R (2006). Diyarbakır İlindeki Tarım İşletmelerinin Tarımsal Yapı ve Mekanizasyon Özellikleri. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 2(1):87-93.
- Tezer E (1980). Tarımsal üretim planlaması kavramı ve mekanizasyon. *Tarım Sorunları ve Tarımsal Üretim Planlaması Semineri*, Ankara.
- Uulu, T, Öğüt, H. (2020). Orta Asya Ülkelerinin Tarımsal Mekanizasyon Düzeylerinin İncelenmesi. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 15 (1), 1-6. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/tarmak/issue/52189/682654>
- Ülger P, Güzel E, Kayışoğlu B, Eker B, Akdemir B, Pınar Y, Bayhan Y, Sağlam C (2002). Tarım Makineleri İlkeleri Kitabı, *TÜ Tekirdağ Ziraat Fakültesi*, Ders Kitabı No: 29. Tekirdağ.
- Yeşilyurt, M, Eryılmaz, T, Gökdoğan, O, Yumak, B. (2013). Kırıkkale İlinin Tarımsal Mekanizasyon Düzeyi. *Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 10 (2), 7-13. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/aduziraat/issue/26420/278143>
- Yıldız, M, Dilay, Y, Özkan, A. (2007). Karaman İlinin Tarımsal Mekanizasyon Seviyesinin Belirlenmesi. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 3 (4), 211-215. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/tarmak/issue/11558/137729>
- Yılmaz, S, Sümer, S. (2018). Güney Marmara Kalkınma Bölgesinin Tarımsal Mekanizasyon Düzeyinin Belirlenmesi. *ÇOMÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 6 (1), 115-122. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/comuagri/issue/38357/369387>



# ***Spirulina platensis* Protein Ekstraktları ile Zenginleştirilmiş Buğday Unundan Üretilen Hamurun Reolojik ve Teknofonksiyonel Özelliklerinin Araştırılması**

Meltem Yılmaz, Aysun Yücepete\*

Aksaray University, Faculty of Engineering, Department of Food Engineering, Aksaray, Turkey, (ORCID: 0000-0003-2543-4166), mlmt.ylmz.14@gmail.com

\*Aksaray University, Faculty of Engineering, Department of Food Engineering, Aksaray, Turkey, (ORCID: 0000-0002-3800-4774), aysunyucepete@aksaray.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 13 Temmuz 2021 ve Kabul Tarihi 7 Kasım 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.970720)

**ATIF/REFERENCE:** Yılmaz, M., Yucepete, A. (2021). *Spirulina platensis* protein ekstraktları ile zenginleştirilmiş buğday unundan üretilen hamurun reolojik ve teknofonksiyonel özelliklerinin araştırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (27), 768-775.

## **Öz**

*Spirulina platensis*, simbiyotik, çok hücreli ve iplikli yapıda mavi-yeşil bir mikroalgdır. Esansiyel amino asitler,  $\beta$ -karoten, fikobiliproteinler gibi pigmentler ve eikosapentaenoik asit (EPA) ve dokosaheksaenoik asit (DHA) gibi çoklu doymamış yağ asitleri gibi bazı değerli biyoaktif moleküller açısından zengindir. Ayrıca, yüksek protein içeriği (kuru ağırlıkta %60-70) ile önemli protein kaynaklarından biridir. Bu çalışmada, buğday ununun *Spirulina platensis* ve *Spirulina platensis*'den ultrases destekli ekstraksiyon ile ekstrakte edilen protein ekstraktları ile zenginleştirilmesi ve zenginleştirilen unların reolojik ve teknofonksiyonel özelliklerinin araştırılması gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın sonuçlarına göre, farklı oranlarda *Spirulina platensis* tozu (SP) ve *Spirulina platensis* protein ekstraktları (SPE) ile zenginleştirilen buğday ununun ekstensograf analizleri sonucunda en uygun SP ve SPE oranları %0,125, 0,25 ve 0,5 olarak belirlenmiştir. Farinograf analizi sonuçlarına göre, SP-%0,5'in en yüksek su absorpsiyonu (%57,1) değerine sahip olduğu belirlenmiştir ( $p<0,05$ ). Örneklerin normal sedimentasyon, gecikmeli sedimentasyon, yaş gluten, kuru gluten ve gluten indeksi değerleri arasındaki farklılık önemli değilken ( $p\geq 0,05$ ), %0,125 oranında SPE ile zenginleştirilen un örneklerinin su tutma kapasitesi (%108,68) diğer örneklerden istatistiksel olarak önemli düzeyde daha yüksektir ( $p<0,05$ ).

**Anahtar Kelimeler:** *Spirulina platensis*, buğday unu, ekstensograf, farinograf, reolojik özellikler, su tutma kapasitesi, zenginleştirme.

## **Investigation of Rheological and Techno-functional Properties of Wheat Flour Enriched with *Spirulina platensis* Protein Extracts**

### **Abstract**

*Spirulina platensis* is a symbiotic, multicellular and filamentous blue-green microalgae. It is rich in terms of essential amino acids, pigments such as  $\beta$ -caroten and phycobiliproteins, polyunsaturated fatty acids such as eicosapentaenoic acid (EPA) and docosahexaenoic acid (DHA). Moreover, it is one of important protein sources with high protein content (60-70% in dry weight). Enrichment of wheat flour with *Spirulina platensis* and *Spirulina platensis* protein extracts obtained by ultrasound-assisted extraction and investigation of rheological and techno-functional properties of the flours were carried out in the present study. According to the results of extensograph analysis of the enriched flours with *Spirulina platensis* powder (SP) and protein extracts from *Spirulina platensis* (SPE), the best ratios for SP and SPE were determined as 0.125%, 0.25% and 0.5%. The SP-0.5% had the highest water absorption capacity (57.1%) ( $p<0.05$ ). Water absorption capacity of the enriched flours with 0.125% SPE was higher than the others ( $p<0.05$ ), while differences among normal sedimentation, delayed sedimentation, wet gluten, dry gluten and gluten index were not significant ( $p\geq 0.05$ ).

**Keywords:** *Spirulina platensis*, wheat flour, extensograph, farinograph, rheological properties, water absorption capacity, enrichment.

\* Sorumlu Yazar: [aysunyucepete@aksaray.edu.tr](mailto:aysunyucepete@aksaray.edu.tr), [aysunyucepete@gmail.com](mailto:aysunyucepete@gmail.com)

## 1. Giriş

*Spirulina platensis* mikroalgi yüksek protein içeriği ve besinsel özelliklerinden dolayı antik zamanlarda Afrika ve Meksika toplumları tarafından, günümüzde ise hemen hemen tüm dünya ulusları tarafından tüketilen Oscillatoriaceae ailesine ait, çok hücreli, simbiyotik ve iplikli yapıda mavi-yeşil bir mikroalgdir (Estrada ve ark., 2001). Yüksek pH'ya (8,5-11,0) sahip tuzlu sulara (>30 g/l) ve yüksek solar radyasyon seviyelerine sahip alanlarda daha fazla gelişim göstermektedir. *Spirulina platensis* önemli bir doğal protein kaynağı (kuru ağırlıkta %60-70) olmakla birlikte omega-3 ve omega-6 çoklu doymamış yağ asitleri, esansiyel amino asitler, mineraller, vitaminler, antioksidatif aktiviteye sahip pigmentler ve polisakaritler içermektedir (Wang ve ark., 2007, Chamorro-Cevallos ve ark., 2008, Bermejo ve ark., 2008, Gad ve ark., 2011, El-Tantawy, 2015, Vo ve ark., 2016, Pelizer ve ark., 2015).

Gıdaların zenginleştirilmesi, gıda ürünlerine besinsel özelliklerini iyileştirmek amacıyla protein ya da mikro besin öğeleri gibi zengin gıda kaynaklarının ilave edilmesi ile gerçekleştirilmektedir. Bu noktada yüksek protein içeriği nedeni ile *Spirulina platensis*'in çeşitli gıda ürünlerinin zenginleştirilmesi amacıyla kullanıldığı bilinmektedir (Ak ve ark., 2016, Lee ve ark., 2011). Le ve ark. (2011)'nin çalışmasında, farklı oranlardaki *Spirulina platensis* ile üretilen fonksiyonel ekmeklerin depolama süresince nem miktarı, tekstürel, duysal ve renk özellikleri araştırılmıştır. Konu ile ilgili yapılmış diğer çalışmalar incelendiğinde, süt ürünleri, bisküvi, makarna ve çeşitli ekmeklerin protein içeriklerinin artırılması amacıyla, *Spirulina platensis* ve *Spirulina platensis*'den elde edilen proteinler ile zenginleştirildiği görülmektedir (Stanic-Vucinic ve ark., 2018). El Baky ve ark. (2015)'nin yaptığı çalışmada ise *Spirulina platensis*'den elde edilen saflaştırılmış fikosiyenin ile bisküvi ürünleri zenginleştirilmiştir.

Buğday ununun besinsel özelliklerinin yanı sıra reolojik özellikleri de son ürün özelliklerine etkileri bakımından önem taşımaktadır. Unun reolojik özelliklerinin belirlenmesi için kullanılan cihazlardan olan ekstensograf cihazı, hamurun fırınlanma ve ekmeğe dönüşüm davranışı hakkında fikir veren ve hamurun esneme özelliğinin ölçülmesine imkan sağlayan bir cihazdır (Abbasi ve ark., 2012). Bu cihazlar, hamurun uzamaya karşı gösterdiği direnç ve esneyen hamurun kopmadan önce uzadığı mesafeyi kaydetmektedir. Unun reolojik özelliklerinin belirlenmesi için kullanılan diğer bir cihaz olan farinograf cihazı ise hamurun mekaniksel davranışlarını değerlendirmek için kullanılmaktadır (Sarker ve ark., 2008). Farinograf ölçüm ile unun su tutma kapasitesinin belirlenmesinin yanı sıra, hamurun kıvamı ve gluten proteininin dayanımı da tahminlenmektedir (Ram ve ark., 2005).

Sunulan çalışma kapsamında öncelikle *Spirulina platensis* mikroalginden ultrases destekli ekstraksiyon ile protein ekstraksiyonu gerçekleştirilmiştir. Daha sonra, *Spirulina platensis* tozu (SP) ve *Spirulina platensis*'den elde edilen protein ekstraktları (SPE) buğday ununa üç farklı oranda katılarak hazırlanan un örneklerinin reolojik ve teknofonksiyonel özellikleri araştırılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Materyal

*Spirulina platensis* tozu Akuatik Su Ürünleri, Gıda, Tohum, Kozmetik, Danışmanlık, Mühendislik San. ve Tic. Ltd. Şti. (Adana, Türkiye) isimli firmadan temin edilmiştir. Buğday unu, Türk Gıda Kodeksi Buğday Unu Tebliği'ne uygun olarak üretilen Tip 2 ekmeklik buğday unu Çandarogulları Derya Un ve Yem San. Tic. Ltd. Şti. (Manisa, Türkiye) firmasından satın alınmıştır. Hidrokrolik asit, sodyum hidroksit ve hekzan Sigma-Aldrich Chemie GmbH'den (Steinheim, Almanya) temin edilmiştir.

### 2.2. Metot

#### 2.1.1. *Spirulina platensis*'ten proteinlerin ultrases destekli ekstraksiyonu

*Spirulina platensis*'ten proteinlerin ekstraksiyonu için Benelhadj ve ark. (2016) ile Yucetepe ve ark. (2018)'nin metotları kullanılmıştır. Öncelikle örneklerdeki yağ fraksiyonları Stone ve ark. (2015)'nin yöntemi kullanılarak uzaklaştırılmıştır. Yağ fraksiyonları uzaklaştırıldıktan sonra, 1 gram *Spirulina platensis* tozuna 15 ml distile su eklenmiş ve 60 dakika boyunca oda sıcaklığında manyetik karıştırıcıda karıştırılmıştır. Karışımın pH'sı 0,1 N NaOH kullanılarak 8,0'e ayarlandıktan sonra, karışım ultrases su banyosuna konularak 4 °C'de 60 dakika boyunca tutulmuştur. Ultrases uygulamasından sonra, 45 °C sıcaklıktaki su banyosunda 65 rpm çalkalama hızında 2 saat boyunca ekstraksiyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Daha sonra 4000 rpm'de 4 °C'de 30 dakika boyunca santrifüj edildikten sonra, süzüntü alınmış ve pH değeri *Spirulina platensis* proteinlerinin izoelektrik noktası olan 3,0'e ayarlanmıştır. Örnekler tekrar 4000 rpm'de 4 °C'de 30 dakika boyunca santrifüj işlemine tabi tutulmuş ve çöken kısım alınarak liyofilize edilmiştir. Liyofilize edilen *Spirulina platensis* protein ekstraktları oksijen ve ışık almayacak şekilde ambalajlanarak, analizlere kadar +4 °C'de muhafaza edilmiştir.

#### 2.1.2. Kontrol ve SP ve SPE ilaveli unların bazı fizikokimyasal ve reolojik özelliklerinin belirlenmesi

Kontrol grubunda ve *Spirulina platensis* tozu ve *Spirulina platensis*'ten elde edilen protein ekstraktları ilave edilmiş un örneklerinde Zeleny sedimantasyon değeri belirlenmiştir (Zelleny,1947). Ayrıca Brabender farinograf analizleri AACC 54-21'e göre, ekstensograf analizleri AACC 54-10'a göre gerçekleştirilmiştir (AACC, 2000). Yaş gluten miktarı ve gluten indeksi AACC metot no: 38-21A (AACC, 2000)'a göre, kuru gluten miktarı ise Özkaya (2005)'ya göre belirlenmiştir.

Çalışmamızda, *Spirulina platensis* tozu ve *Spirulina platensis*'den elde edilen protein ekstraktları ile zenginleştirilmiş un üretmek için en uygun SP ve SPE oranlarını belirlemek amacıyla öncelikle buğday ununa %5, 10 ve 15 oranlarında SP katılarak ekstensograf ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Daha sonra %0,25, %0,5, %0,75 ve %1 oranlarında SP ve son olarak % 0,125, 0,25 ve 0,5 oranlarında SP ve SPE katılarak hazırlanan un örneklerinin ekstensograf ve farinograf analizleri gerçekleştirilmiştir.

### 2.2.3 Kontrol ve SP ve SPE ilaveli unların bazı teknofonksiyonel özelliklerinin belirlenmesi

#### 2.2.3.1 Yığın yoğunluğunun belirlenmesi

Un örneklerinin yığın yoğunluğu Giami ve Bekebain (1992)'nin metoduna göre belirlenmiştir. Kalibre edilmiş santrifüj tüplerinin darası alındıktan sonra 5 ml hacim seviyesine kadar örnek konulmuş ve tartım yapıldıktan sonra, aşağıdaki eşitlik kullanılarak un örneklerinin yığın yoğunluğu hesaplanmıştır.

$$\text{Yığın yoğunluğu, g/ml} = \frac{\text{Örnek ağırlığı, g}}{\text{Örnek hacmi, ml}}$$

#### 2.2.3.2 Su tutma kapasitesi

Örneklerin su tutma kapasitesi De Marco ve ark. (2014) ve Giami ve Bekebain (1992)'nin metoduna göre belirlenmiştir. Bir gram un örneği ile 10 ml distile su, 20 ml'lik santrifüj tüplerinde vorteks cihazı kullanılarak 2 dakika boyunca karıştırılmış ve karışım oda sıcaklığında 30 dakika boyunca bekletilmiştir. Daha sonra, 4100 rpm'de 20 dakika boyunca uygulanan santrifüj işleminden sonra süzüntü uzaklaştırılmış ve çöktiyi içeren santrifüj tüpleri tartılmıştır. Örneklerin su tutma kapasitesini hesaplamak için aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır:

$$\text{Su tutma kapasitesi, \%} = \frac{A - B}{C} \times 100$$

A: Tüp ve çöktinin ağırlıkları toplamı, B: Tüp ve kuru örneğin ağırlıkları toplamı, C: Kuru örneğin ağırlığı.

#### 2.2.3.3 Yağ tutma kapasitesi

Örneklerin yağ tutma kapasitesi De Marco ve ark. (2014) ve Giami ve Bekebain (1992)'nin metoduna göre belirlenmiştir. Bir gram un örneği ile 10 ml ayçiçek yağı 20 ml'lik santrifüj tüplerinde vorteks cihazı kullanılarak 2 dakika boyunca karıştırılmış ve karışım oda sıcaklığında 30 dakika boyunca bekletilmiştir. Daha sonra 4100 rpm'de 20 dakika boyunca uygulanan santrifüj işleminden sonra süzüntü uzaklaştırılmış ve çöktiyi içeren santrifüj tüpleri tartılmıştır. Örneklerin yağ tutma kapasitesini hesaplamak için aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır:

$$\text{Yağ tutma kapasitesi, \%} = \frac{A - B}{C} \times 100$$

A: Tüp ve çöktinin ağırlıkları toplamı, B: Tüp ve kuru örneğin ağırlıkları toplamı, C: Kuru örneğin ağırlığı.

#### 2.2.3.4 Şişme indeksi

Örneklerin şişme indeksi değeri Onuegbu ve ark. (2013)'nin metoduna göre belirlenmiştir. Her bir un numunesinin şişme indeksi, her numunenin bir birim ağırlığının şişmiş hacminin, dereceli bir ölçüm silindirindeki başlangıç hacmine oranı olarak belirlenmiştir. Her bir un örneğinden 1'er gram alınarak 20 ml'lik silindire konulmuş ve üzerine 10 ml distile su eklenmiştir. Örnek hacmi kaydedildikten sonra, karışım 1 saat boyunca bekletilmiş ve hacim tekrar kaydedilmiştir. Un örneklerinin şişme indeksi aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\text{Şişme indeksi} = \frac{\text{Örneklerin başlangıç hacmi}}{\text{Örneklerin şişme sonrası hacmi}}$$

### 2.4. İstatistiksel analiz

Deney sonuçları Minitab İstatistik Programı (Minitab, Version 17, Minitab Inc., State College, Pensilvanya, ABD) kullanılarak analizlenmiştir. Değerler arasındaki farklılık ( $p < 0,05$ ) Tukey testi ile belirlenmiştir.

## 3. Sonuç ve Tartışma

### 3.1 Kontrol ile SP ve SPE ilaveli unların reolojik özellikleri

Çalışmanın bu kısmında kontrol ve SP ve SPE ilaveli unlar ile hazırlanan hamurların ekstensograf ve farinograf analizleri gerçekleştirilerek reolojik özellikleri araştırılmıştır. Ekstensograf analiz ile dinlenme süreleri olarak adlandırılan 45., 90. ve 135. dakikalarda hamurun reolojik davranışlarındaki değişimler ölçülmektedir. Hamurda zamanla meydana gelen bu değişimler ya unun biyokimyasal aktivitesi gibi iç faktörler ya da una katılan çeşitli katkı maddelerinden kaynaklanan dış faktörler nedeni ile oluşmaktadır (Miş ve ark., 2012). Un örneklerinin ekstensograf analizinde; hamurun uzamaya karşı gösterdiği maksimum direnç ( $R_{maks}$ ), hamurun sabit deformasyondaki direnci ( $R_s$ ), esneklik, işlenebilirlik oranı, maksimum işlenebilirlik oranı ve enerji değerleri elde edilmektedir (Burešová ve ark., 2014). Çalışmamızda, *Spirulina platensis* tozu ve *Spirulina platensis*'den elde edilen protein ekstraktları ile zenginleştirilmiş un üretmek için en uygun SP ve SPE oranlarını belirlemek amacıyla öncelikle una %5, 10 ve 15 oranlarında SP katılarak ekstensograf ölçümleri gerçekleştirilmiştir (Tablo 1). Tablo 1'de verilen 135. dakikadaki ekstensograf verilerine göre, kontrol örneklerine ait esneklik değeri hariç tüm değerler zenginleştirilmiş unlara ait değerlerden istatistiksel olarak önemli düzeyde daha yüksektir ( $p < 0,05$ ). Bu nedenle, %5, 10 ve 15 oranlarında zenginleştirilmiş unların ekstensograf ile elde edilen değerleri kontrole göre daha düşük kaldığından, daha düşük SP oranları (%0,25, %0,5, %0,75 ve %1) ile zenginleştirilmiş un örnekleri hazırlanarak, ekstensograf ölçümleri gerçekleştirilmiştir (Tablo 2). Tablo 2'de görüldüğü gibi, %0,75 ve %1,0 oranlarında *Spirulina platensis* katılarak zenginleştirilen unların 135. dakika ekstensograf verilerinde enerji ve esneklik değerleri hariç diğer değerlerin kontrol örneğinden önemli düzeyde düşük olduğu görülmektedir ( $p < 0,05$ ). Ayrıca, SP %0,25 enerji ve esneklik değerleri ve SP %0,5'in esneklik değeri kontrolden daha yüksektir. Bu nedenle bir sonraki un formülasyonunda SP oranları % 0,125, 0,25 ve 0,5 olarak belirlenerek ekstensograf ölçümleri gerçekleştirilmiştir (Tablo 3). Belirlenen değer aralıklarında yapılan ekstensograf analizleri sonucunda, 135. dakikada kontrol örneği ile *Spirulina platensis* ile zenginleştirilmiş unlar kıyaslandığında, ekstensogram parametreleri arasında önemli düzeyde bir farklılık olmadığı ( $p \geq 0,05$ ) ve SP ve SPE ilavesinin unların reolojik özelliklerini olumsuz yönde etkilemediği görülmüştür (Tablo 4). Bu nedenle SP ve SPE ile zenginleştirilmiş un elde etmek için, unlara %0,125, 0,25 ve 0,5 oranlarında *Spirulina platensis* tozu ve *Spirulina platensis* protein ekstraktları katılmıştır ve hazırlanan SP ve SPE ilaveli unlara sonraki analizler uygulanmıştır.

Farinograf analizler ile unun hamur haline gelmesi sırasında unun su absorpsiyonu ve hamurun gelişme süresi, stabilite ve

yumuşama derecesi değerleri üzerinden hamurun kıvamı hakkında bilgiye ulaşılabilmektedir (Stojceska ve Butler, 2008). Özellikle gelişme süresi değerinin, undaki protein kalitesinin belirlenmesinde kullanıldığı bilinmektedir (Karababa ve Ozan, 1998). Çalışmamızda, kontrol örneği ve %0,125, 0,25 ve 0,5 oranlarında SP ve SPE içeren un örneklerinin farinogram değerleri Tablo 5’de gösterilmiştir. Unların gelişme süresi, stabilite değeri ve yumuşama derecesi bakımından istatistiksel

olarak önemli düzeyde bir farklılık oluşmamıştır ( $p \geq 0,05$ ). Tablo 5’de görüldüğü gibi, SPE %0,5’in su absorpsiyonu ( $57,1 \pm 0,0$ ) en yüksek ( $p < 0,05$ ) düzeyde gerçekleşmiştir. Farinograf su tutma kapasitesi değeri, ekmeğin üretimi için hamurun su gereksinimini değerlendirmek amacıyla kullanılmaktadır (Ram ve ark., 2005). Rothkaehl (2004)’e göre unların %50-57 arasındaki farinogram su tutma kapasitesi iyi kalitede, %58-60 arasındaki su tutma kapasitesi değeri çok iyi kalitede un olduğunu göstermektedir.

Tablo 1. *Spirulina platensis* tozunun %5, 10 ve 15 oranlarında ilave edildiği buğday unlarının 45, 90 ve 135. dakikalarda ekstensogram değerleri.

Örnek	Enerji, (cm <sup>2</sup> )	R <sub>s</sub> (B.U.)*	Esneklik (mm)	R <sub>maks</sub> (B.U.)	İşlenebilirlik Oranı (B.U./mm)	Maksimum İşlenebilirlik Oranı (B.U./mm)
<b>45. dakika</b>						
Kontrol	66,0±1,0 <sup>a*</sup>	252,5±4,5 <sup>a</sup>	152,0±0,0 <sup>a</sup>	306,0±6,0 <sup>a</sup>	1,7±0,1 <sup>ab</sup>	2,1±0,1 <sup>ab</sup>
SP-%5	50,0±2,0 <sup>b</sup>	220,0±13,0 <sup>a</sup>	139,0±0,0 <sup>b</sup>	236,5±11,5 <sup>b</sup>	1,6±0,1 <sup>b</sup>	1,7±0,1 <sup>b</sup>
SP-%10	42,5±0,5 <sup>bc</sup>	218,5±0,5 <sup>a</sup>	125,5±1,5 <sup>c</sup>	218,5±0,5 <sup>b</sup>	1,8±0,1 <sup>ab</sup>	1,8±0,1 <sup>b</sup>
SP-%15	40,0±2,0 <sup>c</sup>	266,0±19,0 <sup>a</sup>	102,5±2,5 <sup>d</sup>	271,5±19,5 <sup>ab</sup>	2,6±0,2 <sup>a</sup>	2,7±0,3 <sup>a</sup>
<b>90. dakika</b>						
Kontrol	65,5±2,5 <sup>a</sup>	256,5±1,5 <sup>a</sup>	145,0±3,0 <sup>a</sup>	323,5±9,5 <sup>a</sup>	1,8±0,1 <sup>a</sup>	2,3±0,1 <sup>a</sup>
SP-%5	39,0±2,0 <sup>b</sup>	187,0±11,0 <sup>b</sup>	133,5±0,5 <sup>a</sup>	189,5±10,5 <sup>b</sup>	1,4±0,1 <sup>a</sup>	1,4±0,1 <sup>b</sup>
SP-%10	27,5±1,5 <sup>b</sup>	160,0±6,0 <sup>b</sup>	114,5±3,5 <sup>b</sup>	170,5±5,5 <sup>b</sup>	1,4±0,0 <sup>a</sup>	1,5±0,0 <sup>b</sup>
SP-%15	28,5±0,5 <sup>b</sup>	188,0±8,0 <sup>b</sup>	101,5±2,5 <sup>b</sup>	212,5±8,5 <sup>b</sup>	1,9±0,2 <sup>a</sup>	2,1±0,1 <sup>a</sup>
<b>135. dakika</b>						
Kontrol	71,5±2,5 <sup>a</sup>	298,0±1,0 <sup>a</sup>	140,5±3,5 <sup>a</sup>	372,5±3,5 <sup>a</sup>	2,2±0,1 <sup>a</sup>	2,7±0,1 <sup>a</sup>
SP-%5	27,0±3,0 <sup>b</sup>	136,5±14,5 <sup>b</sup>	132,0±6,0 <sup>a</sup>	139,5±13,5 <sup>b</sup>	1,1±0,1 <sup>b</sup>	1,1±0,1 <sup>b</sup>
SP-%10	16,5±0,5 <sup>b</sup>	99,5±4,5 <sup>b</sup>	105,5±0,5 <sup>b</sup>	129,0±7,0 <sup>c</sup>	1,0±0,1 <sup>b</sup>	1,2±0,1 <sup>b</sup>
SP-%15	13,0±1,0 <sup>b</sup>	83,0±5,0 <sup>b</sup>	87,5±4,5 <sup>b</sup>	119,0±8,0 <sup>d</sup>	1,0±0,1 <sup>b</sup>	1,4±0,1 <sup>b</sup>

SP: *Spirulina platensis*; B.U.: Brabender birimi; mm: milimetre. SP-%5, SP-%10 ve SP-%15: Sırasıyla %5, %10 ve %15 oranında SP ilaveli un. Değerlerin istatistiksel analizleri 45, 90 ve 135. dakikalar için ayrı olarak gerçekleştirilmiştir. \*a, b, c harfleri 45, 90 ve 135. dakikalardaki aynı sütun için istatistiksel olarak farklılığı ifade etmektedir ( $p < 0,05$ , Tukey).

Tablo 2. *Spirulina platensis* tozunun %0,25, 0,5, 0,75 ve 1 oranlarında ilave edildiği buğday unlarının 45, 90 ve 135. dakikalarda ekstensogram değerleri.

Örnek	Enerji, (cm <sup>2</sup> )	R <sub>s</sub> (B.U.)*	Esneklik, (mm)	R <sub>maks</sub> (B.U.)	İşlenebilirlik Oranı (B.U./mm)	Mak. İşlenebilirlik Oranı (B.U./mm)
<b>45 Dakika</b>						
Kontrol	93,5±0,5 <sup>a*</sup>	333,5±2,5 <sup>a</sup>	151,5±2,5 <sup>a</sup>	455,0±16,0 <sup>a</sup>	2,2±0,1 <sup>a</sup>	3,0±0,2 <sup>a</sup>
SP-%0,25	94,0±4,0 <sup>a</sup>	277,5±6,5 <sup>c</sup>	170,5±4,5 <sup>a</sup>	408,0±5,0 <sup>ab</sup>	1,6±0,0 <sup>b</sup>	2,4±0,0 <sup>a</sup>
SP-%0,5	83,0±5,0 <sup>a</sup>	292,0±1,0 <sup>bc</sup>	153,5±6,5 <sup>a</sup>	393,5±5,5 <sup>b</sup>	1,9±0,1 <sup>ab</sup>	2,5±0,0 <sup>a</sup>
SP-%0,75	94,0±3,0 <sup>a</sup>	311,5±7,5 <sup>ab</sup>	160,5±0,5 <sup>a</sup>	429,0±14,0 <sup>ab</sup>	1,9±0,0 <sup>ab</sup>	2,7±0,1 <sup>a</sup>
SP-%1,0	81,5±5,5 <sup>a</sup>	300,5±1,5 <sup>bc</sup>	151,0±8,0 <sup>a</sup>	388,±6,5 <sup>b</sup>	2,0±0,1 <sup>ab</sup>	2,6±0,1 <sup>a</sup>
<b>90 Dakika</b>						
Kontrol	106,0±7,0 <sup>a</sup>	394,5±6,5 <sup>a</sup>	147,5±5,5 <sup>a</sup>	537,0±23,0 <sup>a</sup>	2,6±0,1 <sup>a</sup>	3,6±0,0 <sup>a</sup>
SP-%0,25	95,5±4,5 <sup>a</sup>	315,0±24,0 <sup>b</sup>	159,0±12,0 <sup>a</sup>	454,5±22,5 <sup>ab</sup>	2,0±0,3 <sup>a</sup>	2,9±0,4 <sup>a</sup>
SP-%0,5	97,5±8,5 <sup>a</sup>	355,0±9,0 <sup>ab</sup>	151,0±8,0 <sup>a</sup>	483,0±15,0 <sup>ab</sup>	2,3±0,0 <sup>a</sup>	3,2±0,1 <sup>a</sup>
SP-%0,75	88,5±1,5 <sup>a</sup>	344,0±11,0 <sup>ab</sup>	146,0±6,0 <sup>a</sup>	450,5±12,5 <sup>ab</sup>	2,3±0,1 <sup>a</sup>	3,1±0,2 <sup>a</sup>
SP-%1,0	84,5±5,5 <sup>a</sup>	328,0±11,0 <sup>ab</sup>	152,0±7,0 <sup>a</sup>	410,5±17,5 <sup>b</sup>	2,1±0,0 <sup>a</sup>	2,7±0,0 <sup>a</sup>
<b>135 Dakika</b>						
Kontrol	96,0±9,0 <sup>a</sup>	378,5±42,5 <sup>a</sup>	141,0±2,0 <sup>a</sup>	515,0±40,0 <sup>a</sup>	2,6±0,2 <sup>a</sup>	3,6±0,2 <sup>a</sup>
SP-%0,25	105,0±1,0 <sup>a</sup>	300,5±2,5 <sup>b</sup>	174,5±9,5 <sup>a</sup>	451,5±10,5 <sup>ab</sup>	1,7±0,0 <sup>b</sup>	2,6±0,0 <sup>b</sup>
SP-%0,5	92,0±1,0 <sup>a</sup>	335,5±6,5 <sup>ab</sup>	152,5±3,5 <sup>a</sup>	448,0±4,0 <sup>ab</sup>	2,2±0,1 <sup>ab</sup>	2,9±0,1 <sup>ab</sup>
SP-%0,75	86,0±0,0 <sup>a</sup>	315,5±17,5 <sup>b</sup>	153,0±4,0 <sup>a</sup>	416,5±8,5 <sup>ab</sup>	2,0±0,1 <sup>ab</sup>	2,7±0,1 <sup>b</sup>
SP-%1,0	78,5±5,5 <sup>a</sup>	326,0±5,0 <sup>ab</sup>	141,5±7,5 <sup>a</sup>	402,0±11,0 <sup>b</sup>	2,3±0,1 <sup>ab</sup>	2,8±0,0 <sup>ab</sup>

SP: *Spirulina platensis*; B.U.: Brabender birimi; mm: milimetre. SP-%0,25, SP-%0,5 ve SP-%0,75 ve SP-%1,0: Sırasıyla %0,25, %0,5, %0,75 ve %1 oranında SP ilaveli un. Değerlerin istatistiksel analizleri 45, 90 ve 135. dakikalar için ayrı olarak gerçekleştirilmiştir. \*a, b, c harfleri 45, 90 ve 135. dakikalardaki aynı sütun için istatistiksel olarak farklılığı ifade etmektedir ( $p < 0,05$ , Tukey).



Tablo 3. *Spirulina platensis* tozunun %0,125, 0,25 ve 0,5 oranlarında ilave edildiği buğday unlarının 45, 90 ve 135. dakikalarda ekstensogram değerleri.

Örnek	Enerji (cm <sup>2</sup> )	R <sub>s</sub> (B.U.)*	R <sub>maks</sub> (B.U.)	Esneklik (mm)	İşlenebilirlik Oranı (B.U./mm)	Mak. İşlenebilirlik Oranı (B.U./mm)
<b>45. dakika</b>						
Kontrol	103,0±5,0 <sup>a*</sup>	364,5±29,5 <sup>a</sup>	154,5±2,5 <sup>ab</sup>	493,0±31,0 <sup>a</sup>	2,3±0,2 <sup>a</sup>	3,2±0,2 <sup>a</sup>
SP-%0,125	102,0±3,0 <sup>a</sup>	349,5±0,5 <sup>a</sup>	156,5±2,5 <sup>a</sup>	480,0±6,0 <sup>a</sup>	2,2±0,0 <sup>a</sup>	3,1±0,0 <sup>a</sup>
SP-%0,25	98,5±4,5 <sup>a</sup>	350,5±1,5 <sup>a</sup>	147,0±1,0 <sup>ab</sup>	478,5±6,5 <sup>a</sup>	2,4±0,0 <sup>a</sup>	3,2±0,0 <sup>a</sup>
SP-%0,5	101,0±1,0 <sup>a</sup>	392,0±1,0 <sup>a</sup>	143,5±1,5 <sup>b</sup>	507,5±8,5 <sup>a</sup>	2,7±0,0 <sup>a</sup>	3,5±0,0 <sup>a</sup>
<b>90. dakika</b>						
Kontrol	110,0±6,0 <sup>a</sup>	491,0±26,0 <sup>a</sup>	132,0±2,0 <sup>b</sup>	640,0±21,0 <sup>a</sup>	3,7±0,1 <sup>a</sup>	4,8±0,0 <sup>a</sup>
SP-%0,125	123,5±2,5 <sup>a</sup>	496,0±21,0 <sup>a</sup>	140,0±1,0 <sup>a</sup>	679,5±17,5 <sup>a</sup>	3,5±0,1 <sup>ab</sup>	4,8±0,1 <sup>a</sup>
SP-%0,25	118,5±0,5 <sup>a</sup>	429,5±4,5 <sup>a</sup>	145,0±0,0 <sup>a</sup>	623,5±2,5 <sup>a</sup>	2,9±0,0 <sup>b</sup>	4,3±0,0 <sup>b</sup>
SP-%0,5	128,0±1,0 <sup>a</sup>	485,0±5,0 <sup>a</sup>	146,5±0,5 <sup>a</sup>	677,5±5,5 <sup>a</sup>	3,3±0,0 <sup>ab</sup>	4,6±0,1 <sup>ab</sup>
<b>135. dakika</b>						
Kontrol	118,5±3,5 <sup>a</sup>	521,0±14,0 <sup>a</sup>	132,0±0,0 <sup>a</sup>	702,0±19,0 <sup>a</sup>	3,9±0,0 <sup>a</sup>	5,3±0,1 <sup>a</sup>
SP-%0,125	121,0±1,0 <sup>a</sup>	536,0±19,0 <sup>a</sup>	133,5±2,5 <sup>a</sup>	696,5±2,5 <sup>a</sup>	4,0±0,2 <sup>a</sup>	5,2±0,1 <sup>a</sup>
SP-%0,25	124,5±2,5 <sup>a</sup>	530,5±17,5 <sup>a</sup>	132,5±4,5 <sup>a</sup>	710,5±3,5 <sup>a</sup>	4,1±0,1 <sup>a</sup>	5,3±0,5 <sup>a</sup>
SP-%0,5	131,5±2,5 <sup>a</sup>	550,5±61,5 <sup>a</sup>	139,5±4,5 <sup>a</sup>	746,0±58,0 <sup>a</sup>	3,9±0,5 <sup>a</sup>	5,4±0,6 <sup>a</sup>

SP: *Spirulina platensis*; B.U.: Brabender birimi; mm: milimetre. SP-%0,125, SP-%0,25 ve SP-%0,5: Sırasıyla %0,125, %0,25 ve %0,5 oranında SP ilaveli un. Değerlerin istatistiksel analizleri 45, 90 ve 135. dakikalar için ayrı olarak gerçekleştirilmiştir. \*a, b, c harfleri 45, 90 ve 135. dakikalardaki aynı sütun için istatistiksel olarak farklılığı ifade etmektedir (p<0,05, Tukey).

Tablo 4. *Spirulina platensis* ve *Spirulina platensis* protein ekstraktlarının %0,125, 0,25 ve 0,5 oranlarında ilave edildiği buğday unlarının 45, 90 ve 135. dakikalarda ekstensogram değerleri.

Örnek	Enerji (cm <sup>2</sup> )	R <sub>s</sub> (B.U.)*	R <sub>mak</sub> (B.U.)	Esneklik (mm)	İşlenebilirlik Oranı (B.U./mm)	Mak. İşlenebilirlik Oranı (B.U./mm)
<b>45.dakika</b>						
Kontrol	121,0±1,0 <sup>*</sup>	491,0±23,0	139,5±2,5	695,5±0,5	3,5±0,3	4,9±0,1
SP-%0,125	119,0±2,0	489,0±11,0	136,5±1,5	687,5±43,5	3,6±0,3	4,8±0,1
SP-%0,25	122,5±2,5	506,5±42,5	137,0±4,0	725,0±0,0	3,7±0,4	5,3±0,1
SP-%0,5	120,5±0,5	519,0±9,0	136,5±1,5	706,0±2,0	3,9±0,1	5,3±0,1
SPE-%0,125	120,0±1,0	464,5±8,5	137,5±1,5	675,5±22,5	3,3±0,1	4,8±0,0
SPE-%0,25	120,0±0,0	472,0±50,0	137,5±1,5	671,0±25,0	3,4±0,4	4,9±0,2
SPE-%0,5	122,5±0,5	475,0±7,0	141,0±1,0	694,5±0,5	3,3±0,1	4,8±0,0
<b>90. dakika</b>						
Kontrol	135,0±1,0	1002,5±11,5	106,0±1,0	1111,5±26,5	9,4±0,2	10,5±0,4
SP-%0,125	133,5±2,5	1012,0±2,0	105,0±0,0	1125,5±18,5	9,7±0,0	10,7±0,2
SP-%0,25	128,5±0,5	1070,5±73,5	100,0±0,0	1122,0±23,0	10,7±0,7	11,2±0,2
SP-%0,5	125,0±4,0	975,5±29,5	101,0±4,0	1088,5±16,5	9,8±0,8	10,9±0,7
SPE-%0,125	128,0±0,0	1018,5±11,5	102,0±0,0	1116,5±7,5	9,9±0,1	10,9±0,5
SPE-%0,25	129,5±2,5	935,5±14,5	108,5±1,5	1068,5±5,5	8,6±0,2	9,8±0,2
SPE-%0,5	129,0±1,0	1005,5±14,5	104,5±2,5	1083,0±2,0	9,6±0,4	10,3±0,2
<b>135. dakika</b>						
Kontrol	130,5±0,5	1091,0±16,0	104,0±3,0	1113,0±6,0	10,5±0,4	10,7±0,2
SP-%0,125	129,0±2,0	1018,0±32,0	108,0±5,0	1079,5±22,5	9,4±0,8	10,0±0,8
SP-%0,25	130,5±4,5	1018,0±32,0	110,5±1,5	1106,5±20,5	9,2±0,3	10,0±0,3
SP-%0,5	126,5±2,5	1079,0±4,0	101,0±2,0	1111,5±2,5	10,7±0,3	11,0±0,2
SPE-%0,125	126,5±3,5	1007,0±15,0	104,0±1,0	1066,0±16,0	9,6±0,2	10,2±0,2
SPE-%0,25	129,0±2,0	961,0±56,0	106,0±1,0	1100,0±70,0	9,1±0,6	10,4±0,8
SPE-%0,5	125,5±1,5	1109,0±2,0	99,0±2,0	1119,5±12,5	11,3±0,3	11,4±0,4

Herbir değer ortalama±standart sapma olarak verilmiştir (n=3). SP: *Spirulina platensis* tozu, SPE: *Spirulina platensis* protein ekstraktı. SP-%0,125, SP-%0,25 ve SP-%0,50: Sırasıyla %0,125, %0,25 ve %0,5 oranında SP ilaveli un. SPE-%0,125, SPE-%0,25 ve SPE-%0,50: Sırasıyla %0,125, %0,25 ve %0,5 oranında SPE ilaveli un. \*: İstatistiksel olarak fark olmadığı için harf belirtilmemiştir.

Tablo 5. *Spirulina platensis* ve *Spirulina platensis* protein ekstraktlarının %0,125, 0,25 ve 0,5 oranlarında ilave edildiği buğday unlarının farinogram değerleri.

Örnek	Su Absorbsiyonu %	Gelişme Süresi (dak)	Stabilite Değeri (dak)	Yumuşama Derecesi (10. dak)	Yumuşama Derecesi (12. dak)
Kontrol	56,5±0,0 <sup>b*</sup>	1,8±0,0 <sup>a</sup>	2,0±0,0 <sup>a</sup>	83,5±3,5 <sup>a</sup>	84,5±1,5 <sup>a</sup>
SP-%0,125	56,5±0,0 <sup>b</sup>	1,7±0,0 <sup>a</sup>	1,9±0,0 <sup>a</sup>	85,5±1,5 <sup>a</sup>	89,0±1,0 <sup>a</sup>
SP-%0,25	56,9±0,1 <sup>ab</sup>	1,9±0,1 <sup>a</sup>	2,0±0,1 <sup>a</sup>	82,5±3,5 <sup>a</sup>	85,0±0,0 <sup>a</sup>
SP-%0,5	57,1±0,0 <sup>a</sup>	1,6±0,0 <sup>a</sup>	1,7±0,0 <sup>a</sup>	82,0±2,0 <sup>a</sup>	90,0±1,0 <sup>a</sup>
SPE-%0,125	56,6±0,0 <sup>b</sup>	1,7±0,0 <sup>a</sup>	1,9±0,0 <sup>a</sup>	86,0±4,0 <sup>a</sup>	85,0±1,0 <sup>a</sup>
SPE-%0,25	56,7±0,0 <sup>b</sup>	1,7±0,0 <sup>a</sup>	1,9±0,0 <sup>a</sup>	87,0±3,0 <sup>a</sup>	88,0±3,0 <sup>a</sup>
SPE-%0,5	56,8±0,1 <sup>ab</sup>	1,7±0,0 <sup>a</sup>	1,9±0,1 <sup>a</sup>	88,5±0,5 <sup>a</sup>	92,0±0,0 <sup>a</sup>

Herbir değer ortalama±standart sapma olarak verilmiştir (n=3). SP: *Spirulina platensis* tozu, SPE: *Spirulina platensis* protein ekstraktı. SP-%0,125, SP-%0,25 ve SP-%0,50: Sırasıyla %0,125, %0,25 ve %0,5 oranında SP ilaveli un. SPE-%0,125, SPE-%0,25 ve SPE-%0,50: Sırasıyla %0,125, %0,25 ve %0,5 oranında SPE ilaveli un. \*: Kolondaki farklı harfler, Tukey testi tarafından istatistiksel olarak (p<0,05) farklılığı ifade etmektedir.

### 3.2 Kontrol ile SP ve SPE ilaveli unların fizikokimyasal özellikleri

Un kalitesinin belirlenmesinde kullanılan en önemli özelliklerden biri de undaki gluten (öz) miktarıdır. Unda bulunan gluten proteini, maya tarafından oluşturulan CO<sub>2</sub> gazının ağ yapısında tutunmasını ve böylece hamurun kabarmasını sağlamaktadır (Servet ve Akman, 2014). Unun gluten miktarı ve kalitesi hamurun gaz tutma kapasitesinin yanı sıra yoğrulma ve işlenme özellikleri ile son ürün kalitesi üzerinde de doğrudan etkilidir (Kent, 1984). Kontrol örneği ve SP ve SPE ilaveli unların yaş gluten, gluten indeksi, kuru gluten, normal sedimentasyon ve gecikmeli sedimentasyon değerleri Tablo 6'da verilmiştir. Örneklerin yaş gluten, gluten indeksi ve kuru gluten değerleri ile normal ve gecikmeli sedimentasyon değerleri arasındaki farklılık istatistiksel olarak önemli değildir (p≥0,05).

Sunulan çalışmada, un örneklerinin normal sedimentasyon değeri 27,5 ile 28,5 ml olarak bulunmuşken, gecikmeli sedimentasyon değeri 35,5-37,0 ml arasında değişmiştir (Tablo 6). Słowik (2006)'e göre >40 ml sedimentasyon değerine sahip un, çok iyi kalitede un olarak tanımlanmıştır. Ayrıca, 30-40 ml sedimentasyon değerindeki unlar iyi, 20-29 ml sedimentasyon değerindeki unlar yeterli kalitede ve <20 ml sedimentasyon değerindeki unlar düşük kalitede unlar olarak sınıflandırılmıştır (Słowik, 2006). Çalışmamızda kullandığımız tüm un örneklerinin normal sedimentasyon değerinin 25-30 ml arasında olması unların iyi kalitede olduğunu göstermektedir.

### 3.3 Kontrol ve SP ve SPE ilaveli unların teknofonksiyonel özellikleri

Unun su tutma kapasitesi hamurun reolojik özellikleri ve son ürünün kalitesini etkilediğinden ekmek yapımı özellikleri üzerinde etkili olan faktörlerden biridir ve su tutma kapasitesi unda bulunan gluten proteininin miktarı ve kalitesi ile undaki zedelenmiş nişasta ve liflerin miktarına bağlı olarak değişmektedir (Du ve ark., 2014). Ayrıca, su tutma kapasitesi ekmek içinin yumuşaklığı ve

ekmek özelliklerinin korunması üzerinde de etkili olan faktörlerdendir (Koppel ve Ingver, 2010). Tablo 7'de kontrol ve zenginleştirilmiş un örneklerinin su tutma ve yağ tutma kapasiteleri ile yığın yoğunluğu ve şişme indeksi değerleri verilmiştir. Çalışmamızda örneklerin su tutma kapasitesi, Tablo 7'de görüldüğü gibi, %90,23±0,57 ile %108,68±5,82 arasında değişmiştir. En yüksek su tutma kapasitesi %108,68±5,82 olarak %0,125 *S. platensis* protein ekstraktı ile zenginleştirilmiş unlarda, en düşük su tutma kapasitesi ise %90,23±0,57, %91,55±0,42 ve %91,64±1,10 olarak sırasıyla SP-%0,25, SP-%0,5 ve kontrol örneklerinde gerçekleşmiştir (p<0,05). Kontrol örneğinin su tutma kapasitesi (%91,64±1,10); SP-%0,125 (%98,11±1,62), SPE-%0,125 (%108,68±5,82) ve SPE-%0,25 (%99,52±1,30)'den istatistiksel olarak önemli düzeyde daha düşüktür (p<0,05). Çalışmamızda elde ettiğimiz değerlere yakın olarak Bashir ve ark. (2017)'nin çalışmasında buğday ununun su tutma kapasitesi %85 olarak belirlenmiştir. Çalışmamızdan farklı olarak buğday ununun su tutma kapasitesini Das ve ark. (2019) %66,59, Nwosu ve ark. (2014) ise %207 olarak tespit etmiştir.

Tablo 7'de görüldüğü gibi, örneklerin yağ tutma kapasitesi en düşük kontrol örneğinde %88,91±0,88 ve SP %0,25'de %86,60±1,40 olarak ve en yüksek SPE-%0,25 örneğinde %107,39±1,86 olarak belirlenmiştir (p≥0,05). Nwosu ve ark. (2014), buğday ununun yağ tutma kapasitesini %152 olarak belirlerken, Bashir ve ark. (2017), tam buğday ununun yağ tutma kapasitesini çalışmamızda elde ettiğimiz değerlere yakın olarak %110 olarak tespit etmiştir.

Çalışmamızda, örneklerin yığın yoğunluğu değeri 0,54 ile 0,65 g/ml arasında değişmiştir ve örneklerin yığın yoğunluğu değerleri arasındaki farklılık istatistiksel olarak önemli düzeyde değildir (p≥0,05, Tablo 7). Çalışmamıza benzer olarak Siddiq ve ark. (2010)'nin çalışmasında, kurutulmuş fasulye unlarının yığın yoğunluğu değerleri 0,515-0,556 g/ml arasında değişmiştir. Nwosu ve ark. (2014), buğday ununun yığın yoğunluğunu 0,70 g/ml olarak belirlemiştir. Benzer olarak, Bashir ve ark. (2017) da tam buğday ununun yığın yoğunluğunu 0,77 g/ml olarak belirlemiştir.

Tablo 6. *Spirulina platensis* ve *Spirulina platensis* protein ekstraktlarının %0,125, 0,25 ve 0,5 oranlarında ilave edildiği buğday unlarının normal sedimentasyon, gecikmeli sedimentasyon, yaş gluten, gluten indeksi ve kuru gluten değerleri.

Örnek	Normal sedimentasyon (ml)	Gecikmeli sedimentasyon (ml)	Yaş gluten (%)	Gluten indeksi (%)	Kuru gluten (ml)
Kontrol	28,5±0,5*	35,5±0,5	27,5±0,2	93,5±0,9	9,3±0,1
SP-%0,125	28,0±0,0	36,5±0,5	27,5±0,1	93,1±0,7	9,3±0,1
SP-%0,25	28,5±0,5	36,5±0,5	27,6±0,1	93,6±0,3	9,4±0,2
SP-%0,5	28,0±0,0	37,0±0,0	27,6±0,1	94,6±0,4	9,4±0,1
SPE-%0,125	27,5±0,5	36,5±0,5	27,4±0,1	94,0±0,5	9,3±0,1
SPE-%0,25	28,0±0,0	36,0±0,0	27,3±0,1	93,1±0,4	9,3±0,0
SPE-%0,5	28,5±0,5	35,5±0,5	27,6±0,2	94,4±0,3	9,4±0,0

Herbir değer ortalama±standart sapma olarak verilmiştir (n=3). SP: *Spirulina platensis* tozu, SPE: *Spirulina platensis* protein ekstraktı. SP-%0,125, SP-%0,25 ve SP-%0,50: Sırasıyla %0,125, %0,25 ve %0,5 oranında SP ilaveli un. SPE-%0,125, SPE-%0,25 ve SPE-%0,50: Sırasıyla %0,125, %0,25 ve %0,5 oranında SPE ilaveli un. \*: İstatistiksel olarak fark olmadığı için harf belirtilmemiştir.

Tablo 7. *Spirulina platensis* ve *Spirulina platensis* protein ekstraktlarının %0,125, 0,25 ve 0,5 oranlarında ilave edildiği buğday unlarının su tutma kapasitesi, yağ tutma kapasitesi, yağın yoğunluğu ve şişme indeksi değerleri.

Örnek	Su tutma kapasitesi, %	Yağ tutma kapasitesi, %	Yağın yoğunluğu, g/ml	Şişme indeksi, ml
Kontrol	91,64±1,10 <sup>b</sup>	88,91±0,88 <sup>a</sup>	0,61±0,03 <sup>a</sup>	1,36±0,1 <sup>a</sup>
SP-%0,125	98,11±1,62 <sup>ab</sup>	91,59±0,66 <sup>a</sup>	0,65±0,03 <sup>a</sup>	1,32±0,0 <sup>a</sup>
SP-%0,25	90,23±0,57 <sup>b</sup>	86,60±1,40 <sup>a</sup>	0,64±0,01 <sup>a</sup>	1,32±0,0 <sup>a</sup>
SP-%0,5	91,55±0,42 <sup>b</sup>	89,03±7,04 <sup>a</sup>	0,59±0,04 <sup>a</sup>	1,32±0,0 <sup>a</sup>
SPE-%0,125	108,68±5,82 <sup>a</sup>	99,77±6,30 <sup>a</sup>	0,62±0,02 <sup>a</sup>	1,33±0,0 <sup>a</sup>
SPE-%0,25	99,52±1,30 <sup>ab</sup>	107,39±1,86 <sup>a</sup>	0,54±0,04 <sup>a</sup>	1,57±0,0 <sup>a</sup>
SPE-%0,5	94,93±0,60 <sup>b</sup>	91,56±1,21 <sup>a</sup>	0,61±0,03 <sup>a</sup>	1,45±0,1 <sup>a</sup>

Herbir değer ortalama±standart sapma olarak verilmiştir (n=3). SP: *Spirulina platensis* tozu, SPE: *Spirulina platensis* protein ekstraktı, SP-%0,125, SP-%0,25 ve SP-%0,50: Sırasıyla %0,125, %0,25 ve %0,5 oranında SP ilaveli un. SPE-%0,125, SPE-%0,25 ve SPE-%0,50: Sırasıyla %0,125, %0,25 ve %0,5 oranında SPE ilaveli un. \*: Kolondaki farklı harfler, Tukey testi tarafından istatistiksel olarak (p<0,05) farklılığı ifade etmektedir.

Çalışmamızda, örneklerin şişme indeksi 1,32 ile 1,57 arasında değişmiştir (p≥0,05). Bashir ve ark. (2017) tam buğday ununun şişme indeksi değerini 50 °C'den 90 °C'ye değişen sıcaklık uygulamalarında 1,83 ile 7,83 g/g arasında değiştiğini belirlemiştir. Çalışmamızdan farklı olarak, Nwosu ve ark. (2014), buğday ununun şişme indeksi değerini 3,80 olarak tespit etmiştir. Das ve ark. (2019)'nın çalışmasında ise mango çekirdek ununun şişme indeksi 0,63 g/ml, buğday ununun 0,58 g/ml olarak belirlenmiştir.

#### 4. Sonuç

*Spirulina platensis* mikroalgi yüksek protein içeriği nedeni ile önemli bir gıda kaynağıdır. Bu çalışmada *Spirulina platensis* ve *Spirulina platensis* protein ekstraktları ile zenginleştirilmiş buğday ununun bazı reolojik ve teknofonksiyonel özelliklerinin yanı sıra fizikokimyasal özellikleri araştırılmıştır. Çalışmanın sonuçlarına göre SP-%0,125, SPE-%0,125 ve SPE-%0,25'de su tutma kapasitenin kontrol örneğine göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Gelecek çalışmalar, *Spirulina platensis* ve *Spirulina platensis* protein ekstraktlarının farklı oranlarda katılması ile elde edilen zenginleştirilmiş unların diğer reolojik ve teknofonksiyonel özelliklerinin de iyileştirilmesi çalışmaları gerçekleştirilebilir.

#### 5. Kaynakça

Abbasi, H., Ardabili, S. M. S., Emam-Djomeh, Z. A. H. R. A., Mohammadifar, M. A., Zekri, M., & Aghagholidzadeh, R. (2012). Prediction of extensograph properties of wheat-flour

dough: artificial neural networks and a genetic algorithm approach. *Journal of Texture Studies*, 43(4), 326-337.

Abd El Baky, H. H., El Baroty, G. S., & Ibrahim, E. A. (2015). Functional characters evaluation of biscuits sublimated with pure phycocyanin isolated from *Spirulina* and *Spirulina* biomass. *Nutricion Hospitalaria*, 32(1), 231-241.

Ak, B., Avsaroglu, E., Isik, O., Özyurt, G., Kafkas, E., & Etyemez, M. (2016). Nutritional and physicochemical characteristics of bread enriched with microalgae *Spirulina platensis*. *International Journal of Engineering Research and Applications*, 6(9).

American Association of Cereal Chemists. Approved Methods Committee. (2000). Approved methods of the American association of cereal chemists (Vol. 1). American Association of Cereal Chemists

American Association of Cereal Chemists. Approved Methods Committee. (2000). Approved Methods of the AACC, 10th ed., The Association: Methods No: 54-21, 38-21A. St. Paul MN, USA

Bashir, K., Swer, T. L., Prakash, K. S., & Aggarwal, M. (2017). Physico-chemical and functional properties of gamma irradiated whole wheat flour and starch. *LWT-Food Science and Technology*, 76, 131-139.

Benelhadj, S., Gharsallaoui, A., Degraeve, P., Attia, H. ve Ghorbel, D. (2016). Effect of pH on the functional properties of *Arthrospira (Spirulina) platensis* protein isolate. *Food Chemistry*, 194, 1056-1063.

Bermejo, P., Pinero, E., & Villar, A. M. (2008). Iron-chelating ability and antioxidant properties of phycocyanin isolated from a protean extract of *Spirulina platensis*. *Food*

- Chemistry, 110(2), 436-445. doi: 10.1016/j.foodchem.2008.02.021
- Burešová, I., Kráčmar, S., Dvořáková, P., & Středa, T. (2014). The relationship between rheological characteristics of gluten-free dough and the quality of biologically leavened bread. *Journal of Cereal Science*, 60(2), 271-275.
- Chamorro-Cevallos, G., Garduño-Siciliano, L., Barrón, B. L., Madrigal-Bujaidar, E., Cruz-Vega, D. E., & Pages, N. (2008). Chemoprotective effect of *Spirulina* (*Arthrospira*) against cyclophosphamide-induced mutagenicity in mice. *Food and Chemical Toxicology*, 46(2), 567-574.
- Das, P. C., Khan, M. J., Rahman, M. S., Majumder, S., & Islam, M. N. (2019). Comparison of the physico-chemical and functional properties of mango kernel flour with wheat flour and development of mango kernel flour based composite cakes. *NFS journal*, 17, 1-7.
- De Marco, E. R., Steffolani, M. E., Martínez, C. S., & León, A. E. (2014). Effects of *Spirulina* biomass on the technological and nutritional quality of bread wheat pasta. *LWT-Food Science and Technology*, 58(1), 102-108.
- Du, S. K., Jiang, H., Yu, X., & Jane, J. L. (2014). Physicochemical and functional properties of whole legume flour. *LWT-Food Science and Technology*, 55(1), 308-313.
- El-Tantawy, W. H. (2015). Antioxidant effects of *Spirulina* supplement against lead acetate-induced hepatic injury in rats. *Journal of Traditional and Complementary Medicine*.
- Estrada, J. P., Bescós, P. B., & Del Fresno, A. V. (2001). Antioxidant activity of different fractions of *Spirulina platensis* protean extract. *Il Farmaco*, 56(5-7), 497-500.
- Gad, A. S., Khadrawy, Y. A., El-Nekeety, A. A., Mohamed, S. R., Hassan, N. S., & Abdel-Wahhab, M. A. (2011). Antioxidant activity and hepatoprotective effects of whey protein and *Spirulina* in rats. *Nutrition*, 27(5), 582-589.
- Giami, S. Y., & Bekeba, D. A. (1992). Proximate composition and functional properties of raw and processed full-fat fluted pumpkin (*Telfairia occidentalis*) seed flour. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 59(3), 321-325.
- Karababa, E., & Ozan, A. N. (1998). Effect of wheat bug (*Eurygaster integriceps*) damage on quality of a wheat variety grown in Turkey. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 77(3), 399-403.
- Kent, N. L. (1984). Cereals of the world: grain structure. *Technology of Cereals*, 1626.
- Koppel, R., & Ingver, A. (2010). Stability and predictability of baking quality of winter wheat. *Agronomy Research*, 8(3), 637-644.
- Lee, J. Y., Kang, S. H., & Kim, M. R. (2011). Changes in the quality characteristics and antioxidant activities of spirulina added bread during storage. *Korean Journal of Food Preservation*, 18(1), 111-118.
- Miś, A., Grundas, S., Dziki, D., & Laskowski, J. (2012). Use of farinograph measurements for predicting extensograph traits of bread dough enriched with carob fibre and oat wholemeal. *Journal of Food Engineering*, 108(1), 1-12.
- Nwosu, J. N., Owuamanam, C. I., Omeire, G. C., & Eke, C. C. (2014). Quality parameters of bread produced from substitution of wheat flour with cassava flour using soybean as an improver. *American Journal of Research Communication*, 2(3), 99-118.
- Onuegbu, N. C., Ihediohanma, N. C., Odunze, O. F. ve Ojukwu, M. (2013). Efficiency of wheat: maize composite flour as affected by baking method in bread and cake production. *Sky Journal of Food Science*, 2 (8), 005-013.
- Özkaya, H. (2005). Tahıl ve ürünleri analiz yöntemleri. Gıda Teknolojisi Derneği Yayınları.
- Pelizer, L. H., de Carvalho, J. C. M., & de Oliveira Moraes, I. (2015). Protein production by *Arthrospira* (*Spirulina*) *platensis* in solid state cultivation using sugarcane bagasse as support. *Biotechnology Reports*, 5, 70-76.
- Ram, S., Dawar, V., Singh, R. P., & Shoran, J. (2005). Application of solvent retention capacity tests for the prediction of mixing properties of wheat flour. *Journal of Cereal Science*, 42(2), 261-266.
- Rothkaehl J., 2004. Determination of the rheological properties of dough from domestic wheat flour (in Polish). ZPZiP IBPRS. Warszawa, 2004.
- Sarker, M. Z. I., Yamauchi, H., Kim, S. J., MATSUMURA-ENDO, C., Takigawa, S., Hashimoto, N., & Noda, T. (2008). A farinograph study on dough characteristics of mixtures of wheat flour and potato starches from different cultivars. *Food Science and Technology research*, 14(2), 211-216.
- Servet, Ö., & Akman, Z. (2014). Yozgat ekolojik koşullarında bazı ekmeklik buğday çeşitlerinin verim ve kalite özelliklerinin belirlenmesi. *Ziraat Fakültesi Dergisi*, 10(1), 35-43.
- Siddiq, M., Ravi, R., Harte, J. B., & Dolan, K. D. (2010). Physical and functional characteristics of selected dry bean (*Phaseolus vulgaris* L.) flours. *LWT-Food Science and Technology*, 43(2), 232-237.
- Słowik E., 2006. Determination of the quality of flour – the commonly used methods (in Polish). *Przegląd Piekarski i Cukierniczy*, 54(11), 14-18.
- Stanic-Vucinic, D., Minic, S., Nikolic, M. R., & Velickovic, T. C. (2018). *Spirulina* phycobiliproteins as food components and complements. *Microalgal Biotechnology*, 129-149.
- Stojceska, V., & Butler, F. (2008). Digitization of farinogram plots and estimation of mixing stability. *Journal of Cereal Science*, 48(3), 729-733.
- Stone, A. K., Karalash, A., Tyler, R. T., Warkentin, T. D., & Nickerson, M. T. (2015). Functional attributes of pea protein isolates prepared using different extraction methods and cultivars. *Food Research International*, 76, 31-38.
- Vo, T., Ngo, D., & Kim, S. (2016). Nutritional and pharmaceutical properties of microalgal *Spirulina*, *Handbook of Marine Microalgae: Biotechnology Advances*. Elsevier Inc, UK, 299-308.
- Wang, L., Pan, B., Sheng, J., Xu, J., & Hu, Q. (2007). Antioxidant activity of *Spirulina platensis* extracts by supercritical carbon dioxide extraction. *Food Chemistry*, 105(1), 36-41.
- Yucetepe, A., Saroglu, O., Bildik, F., Ozcelik, B., & Daskaya-Dikmen, C. (2018). Optimisation of ultrasound-assisted extraction of protein from *Spirulina platensis* using RSM. *Czech Journal of Food Sciences*, 36(1), 98-108.
- Zelleny, L. (1947). A simple sedimentation test for estimating the bread-baking and gluten qualities of wheat flour. *Cereal Chem.*, 24, 465-475.



# Climate Change: A Bibliometric Review

Ebru Bakaç<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> Sinop University, Faculty of Education, Department of Education, Sinop, Turkey, (ORCID: 0000- 0003-4263-8785), ebrubakac@sinop.edu.tr

(First received 31 July 2021 and in final form 11 October 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.976907)

**ATIF/REFERENCE:** Bakaç, E. (2021). Climate Change: A Bibliometric Review. *European Journal of Science and Technology*, (27), 776-783.

## Abstract

The aim of this research is to bibliometrically examine the articles published between 2017-2021 on the subject of climate change. Research data were obtained using the Scopus database. As the article selection criteria, the articles written in the last five years and containing the concept of climate change in the title and abstract were filtered out. In addition, the criteria for the articles to be in English and to have the full text published were also taken into account. According to these criteria (n=662) articles were obtained. The articles were analyzed using the VOSviewer program. As a result of the analyzes, when the distribution of the articles on climate change by subject areas is examined, it has been determined that the most publications are produced in the fields of social sciences, environmental sciences and earth and planetary sciences, and the number of articles is increasing every year. In addition, it has been seen that the subject is discussed in fields such as agriculture and biological sciences, molecular biology and genetics, engineering, economics and medicine. In addition, it was found that the countries with the highest number of studies on climate change were United Kingdom, United States, Germany, Netherlands and Australia, respectively. Collaborations between the authors have been revealed. According to the situation emerging in the abstracts, the most common words in the articles are government, model, health, scenario and temperature. The most striking keywords on the subject are adaptation around the concept of climate change, global warming, environment, water management and energy consumption.

**Keywords:** Climate change, Bibliometric analysis, VOSviewer program, Energy consumption, Water management.

## İklim Değişikliği: Bibliyometrik Bir İnceleme

### Öz

Bu araştırmanın amacı iklim değişikliği konusu ile ilgili olarak 2017-2021 yılları arasında yapılan makalelerin bibliyometrik olarak incelenmesidir. Araştırma verileri Scopus veri tabanı kullanılarak elde edilmiştir. Makale seçim kriteri olarak son beş yıl içerisinde yazılmış, başlık ve özetinde iklim değişikliği kavramı bulunan makaleler filtrelenmiştir. Ayrıca makalelerin İngilizce dilinde olması ve tam metninin yayınlanmış olması kriterleri de dikkate alınmıştır. Bu kriterlere göre (n=662) makale elde edilmiştir. Makaleler VOSviewer programı kullanılarak analiz edilmiştir. Analizler sonucunda iklim değişikliği ile ilgili incelenen makalelerin konu alanlarına göre dağılımı incelendiğinde en fazla sosyal bilimler, çevre bilimleri ve dünya ve gezegen bilimleri alanlarında yayın üretildiği ve her yıl makale sayısının giderek arttığı saptanmıştır. Ayrıca tarım ve biyolojik bilimler, moleküler biyoloji ve genetik, mühendislik, ekonomi ve tıp gibi alanlarda da konunun ele alındığı görülmüştür. Ayrıca iklim değişikliği konusunda en fazla çalışma yapılan ülkelerin sırası ile Birleşik Krallık, Amerika Birleşik Devletleri, Almanya, Hollanda ve Avustralya olduğu bulunmuştur. Yazarlar arasındaki işbirliği ortaya konmuştur. Özetlerde ortaya çıkan duruma göre makalelerde en fazla yer alan kelimeler hükümet, model, sağlık, senaryo ve sıcaklıktır. Konu ile ilgili en dikkat çeken anahtar kelimeler iklim değişikliği kavramı etrafında oluşan adaptasyon, küresel ısınma, çevre, su yönetimi ve enerji tüketimidir.

**Anahtar Kelimeler:** İklim değişikliği, Bibliyometrik analiz, Vosviewer programı, Enerji tüketimi, Su yönetimi.

\* Corresponding Author: [ebrubakac@sinop.edu.tr](mailto:ebrubakac@sinop.edu.tr)

## 1. Introduction

Human-induced climate change has been affecting our planet as a remarkable problem in recent years (Hardy, 2003). Global climate change significantly changes the structure of some ecosystems and causes the extinction of some species (Stenseth et al., 2005). Climates are formed as a result of the natural effect of greenhouse gases. This effect occurs through the effect of gases such as water vapor, carbon dioxide, ozone, methane and nitrite oxide, which absorb heat from the earth and the lower layer of the atmosphere and transmit it back to the earth more (Karl et al., 2009). Changing temperatures, precipitation patterns and increasing atmospheric CO<sub>2</sub> concentrations cause significant changes in natural and modified forests; this situation causes some irreversible damages on human health (Kirilenko & Sedjo, 2007). Energy consumption also has a significant impact on climate change. Aerosols, which are formed as a result of burning coal, petroleum and organic materials, reflect the sun rays reaching the atmosphere back to space, unlike the gases that create the greenhouse effect; however, they cause other difficult problems such as acid rain and deterioration in air quality (UNEP, 2001). Especially the melting of the glaciers on the land and the rise in the water level in the seas will cause some countries to be under water. The rise in sea waters means that it puts great pressure on clean water resources on land. The most important danger is the mixing of sea water with fresh water resources. On the other hand, increasing salt water pressure will cause the loss of highly productive areas in coastal areas (Neubert, 2001).

In the literature, it was seen that there are bibliometric analysis studies examining different variables for climate change. Rana (2020) were examined climate change and disaster awareness, Wang, Zhao, & Wang (2018) were stated that climate change adaptation, Sweileh (2020) were examined climate change and food security, Huang, Chen & Zhou (2020) were examined climate change and carbon emissions, Omoregbe et al. (2020) the were examined effect of climate change on reducing carbon emissions, Belter & Seidel (2013) were examined climate change research in engineering. Zhang, Wang, Liang & Chen (2016) bibliometrically analyzed the studies examining the effect of carbon tax on climate change. Wang, Pan, Ke, Wang & Wei (2014) evaluated 3004 articles published between 1991 and 2012 in their research; It was determined that the relationship between climate change and issues such as health problems, food safety and water management is examined. Çomaklı (2021) conducted a bibliometric analysis of the articles on the retention of soil organic carbon, which has an important role in the improvement of the negative effects of climate change, in terrestrial ecosystems. Seyhan (2021) also analyzed the published works on green innovation and managerial practices in the study of global warming, Covid-19, increasing pollution, decreasing fossil resources, etc. He/She states that the subject will be examined more in the coming period due to the fact that the factors come to the fore. Soyulu & Özkaya (2021) stated that researchers showed little interest in publications on climate change and food safety in their study that produced a bibliometric profile of articles published in peer-reviewed journals on climate change and food safety. Finally, Ünlü, Sever & Akpınar (2011) examined the results of articles and papers on global warming and greenhouse effect published in the field of environmental education in Turkey, in which teachers and students have many misconceptions about global warming and greenhouse effect, their academic knowledge

level is insufficient and they are not scientific. They concluded that it was far. For this reason, it has become important to raise awareness about climate change.

The concept of climate change emerges as a concept that is studied with great importance in today's scientific world. It is seen that almost every branch of science, from science to social sciences, deals with the subject with its own perspective. For this reason, there has been a rapid increase in the number of researches on the subject in recent years. In this context, it is aimed to bring a different dimension to the subject by evaluating the areas where climate change is most studied and the findings obtained as a result of the researches. For this reason, the aim of this research is to bibliometrically examine the articles made between 2017-2021 on the subject of climate change. For this purpose, answers to the following questions were sought:

- What is the distribution of articles on climate change by years?
- Who are the authors with the most articles on climate change?
- What is the distribution of articles on climate change by subject areas?
- What is the distribution of articles on climate change according to the journals in which they are published?
- What is the distribution of articles on climate change by universities?
- What is the distribution of articles on climate change by country?
- What is the cluster density view of the article abstracts?
- What is the view of collaboration between article authors?

## 2. Material and Method

### 2.1. Model of the Research

In this research, bibliometric analysis method based on scientific mapping technique based on quantitative research design was used to analyze the articles dealing with the issue of climate change. Bibliometric analysis includes statistical methods to identify qualitative and quantitative changes in a particular scientific research topic, to profile publications on the subject, and to detect trends within a discipline (Rey-Martí et al., 2016). In the bibliometric analysis method, a wide variety of analysis techniques are used, including citation-based and performance-based analysis, by classifying publications according to countries, universities, research groups or authors (Gaviria-Marin et al., 2019). Within the scope of this research, (n=662) articles were obtained and analyzed using sub-titles such as title, abstract, keywords and collaboration between authors.

### 2.2. Article Selection Criteria

Since the issue of climate change is an interdisciplinary subject, it is seen that there are many studies in the literature. Therefore, some criteria were taken into consideration in the selection of the article. Scopus database was used for article selection. In the Scopus database, n=219.153 articles written on the subject of climate change were found. (TITLE (climate AND change) AND ABS ( articles ) ) AND PUBYEAR > 2016 AND PUBYEAR < 2022 AND ( LIMIT TO ( PUBSTAGE , "final" ) ) AND ( LIMIT TO ( OA , "all" ) ) AND ( LIMIT-TO ( DOCTYPE , "ar" ) ) AND ( LIMIT TO ( LANGUAGE , "English" ) ) AND ( LIMIT-TO ( SRCTYPE , "j" ) ) Articles with the concept of climate change in the title and abstract in the last five years were filtered out. In addition, the criteria for the articles to be in English

and to have the full text published were also taken into account. According to these criteria, n=662 articles were obtained in the database.

### 2.3. Analysis of Data

Different scientific techniques and computer programs are used to create bibliometric maps. In the study, the VOSviewer program was preferred for the visualization of the data set, as it offers the most advanced and valid techniques for each step in the science mapping process. This program is used for the creation and visualization of bibliometric networks based on citation, bibliographic matching, co-authorship or citation relationships (VOSviewer, 2021).

## 3. Results and Discussion

Table 1. Yearly distribution of the articles

Year	N
2021	97
2020	150
2019	141
2018	143
2017	131

When the articles written on climate change in the last five years were examined (Table 1), it was seen that the most articles on the subject were produced in 2020 (n=150). In addition, it is noteworthy that an increasing number of studies have been brought to the literature over the years in the number of articles. Since 2021 has not yet been completed, it does not seem very possible to comment on this year's studies.

Table 2. Distribution of authors' who have the highest number of articles

The name of the writer	N
Harper, S.L.	5
Coggins, S.	3
Ford, J.D.	3
Jerneck, A.	3
Kverndokk, K.	3

According to Table 2, the author with the highest number of articles on climate change is S.L. Harper (n=5). It was seen that other authors have an equal number of articles (n=3). These authors are S. Coggins, J.D. Ford, A. Jerneck and K. Kverndokk.

### 2.4. Limitations

The findings obtained in the research are completely based on computer-based data. Articles published on climate change over a five-year period and covering different disciplines were used as data sources. Only journals in the Scopus database were included in the research data. The data obtained from conference papers, letters, compilations, and book chapters in this database are excluded.

Table 3. Distribution of articles by subject areas

Subject Area	N
Social Sciences	379
Environmental Science	297
Earth and Planetary Sciences	110
Agricultural and Biological Sciences	79
Energy	78
Arts and Humanities	59
Engineering	40
Economics, Econometrics and Finance	39
Medicine	33
Biochemistry, Genetics and Molecular Biology	28

When the distribution of articles by subject areas was analyzed, Social Sciences (n=379), Environmental Sciences (n=297) and Earth and Planetary Sciences (n=110) are in the first three ranks. In addition, it was seen that the subject is discussed in fields such as Agriculture and Biological Sciences, Molecular Biology and Genetics, Engineering, Economics and Medicine (Table 3).

Table 4. Distribution of the articles according to the journals

Title of Article	N
Sustainability	40
Climatic Change	23
Climate Policy	15
JJODRS	11
Functional Ecology	10
PacificJournalism Review	10
Water Switzerland	9
PTOT Royal Society B Biological Sciences	8
WIRCC	8
Energies	7

When Table 4 was examined, the journals of Sustainability (n=40), Climatic Change (n=23) and Climate Policy (n=15) are in the top three ranks in the journals with the highest number of articles.

Table 5. Distribution of the articles by universities

Affiliation	N
Wageningen University	16
University of Leeds	14
Lunds Universitet	14
Helsingin Yliopisto	12
Universität Hamburg	12

When the universities with the highest number of articles on climate change were examined, Wageningen University (n=16), University of Leeds (n=14), Lunds Universitet (n=14), Helsingin Yliopisto (n=12) and Universität Hamburg (n= 12) is coming the first. It was seen that these universities are generally located in Europe (Table 5).

Table 6. Distribution of countries where the articles are produced the most

Countries	N
United Kingdom	157
United States	124
Germany	80
Netherlands	49
Australia	46

When Table 6 was examined, the countries with the highest number of studies on climate change are listed in order. United Kingdom (n=157), United States (n=124), Germany (n=80), Netherlands (n= 49) and Australia (n=46). This situation can be interpreted as that researchers living in developed countries generally pay special attention to climate change

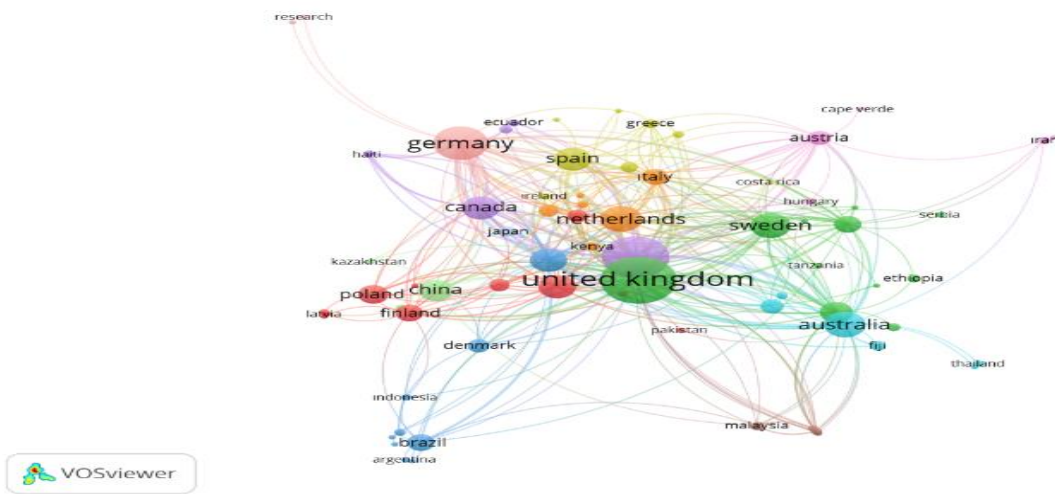


Figure 1. Network view showing cooperation between countries (n=75)

According to Figure 1, when the countries where the published articles on climate change are examined, it was understood that the countries are gathered under 13 clusters according to the network view (n=75).





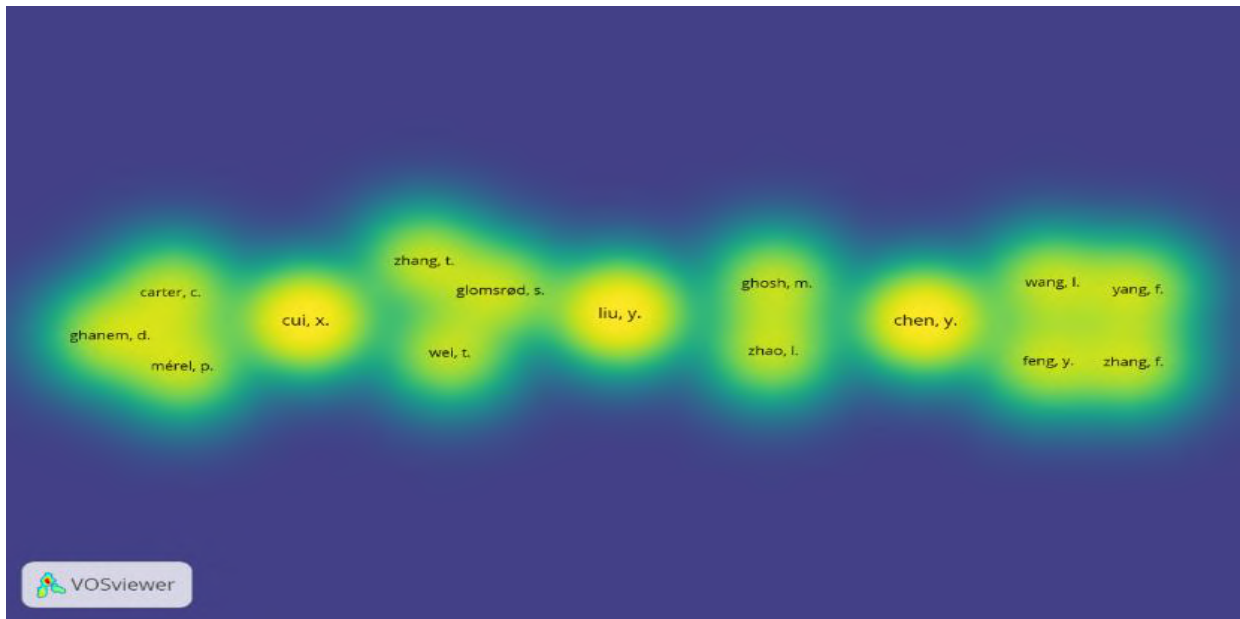


Figure 4. Density view which collaboration between authors

When Figure 4 was examined, the density view which the cooperation between the authors was seen and it was understood that the authors are grouped to form four clusters.

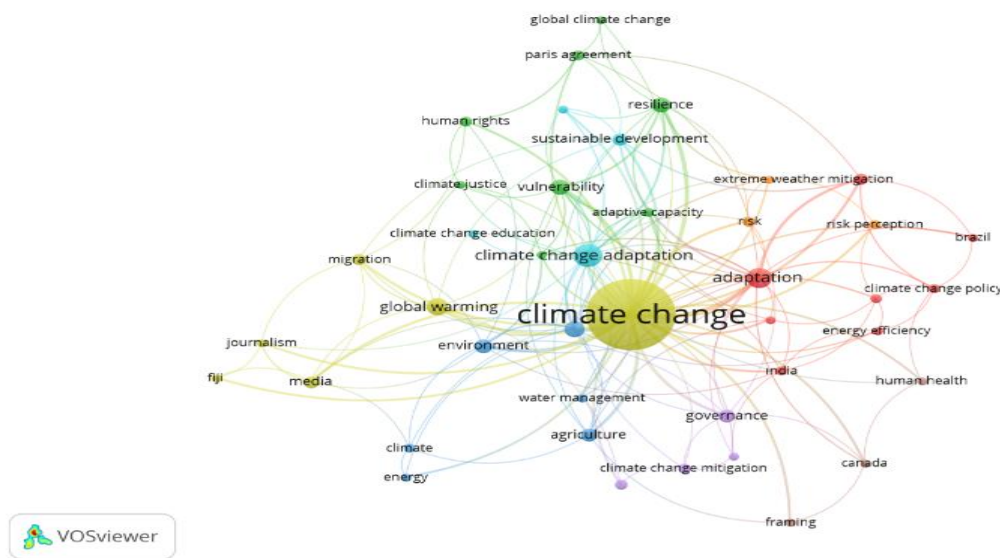


Figure 5. Network view of keywords (N=42)

According to the common keywords created by the authors, it was determined that (n=42) words and eight clusters were formed for the articles on climate change. The most striking concepts related to the subject are adaptation around the concept of climate change, global warming, environment, water management and energy consumption (Figure 5).

The aim of this research is to bibliometrically examine the articles published between 2017-2021 on the subject of climate change. As a result of the research, it was determined that the articles examined on climate change were mostly produced in areas such as social sciences, environmental sciences and Earth and Planetary Sciences, and an increasing number of articles were written every year. In addition, it has been seen that the subject is discussed in fields such as agriculture and biological sciences, molecular biology and genetics, Engineering, Economics and

Medicine. In addition, it was found that the countries with the highest number of studies on climate change were United Kingdom, United States, Germany, Netherlands and Australia, respectively. Sustainability, Climatic Change and Climate Policy journals are in the first three places in the list of journals with the most articles. As a result of the study, the collaborations between the authors were also revealed. According to the situation emerging in the abstracts, the most common words in the articles are government, model, health, scenario and temperature. The most striking keywords on the subject are adaptation around the concept of climate change, global warming, environment, water management and energy consumption.

From the articles examined, it was seen that an increasing number of articles are produced every year in fields such as social sciences and environmental sciences in general, according to the relevant subject areas of the concept of climate change. Similar to this finding, Haunschild, Bornmann & Marx (2016) found that the

total number of articles increased rapidly by doubling every five to six years. Sweileh (2020) also states that the subject has become important in the last ten years. Polat, Duzgun & Yesiltas (2019) state that the theses on climate change, which support the research findings, are generally carried out in fields such as geography, humanities, and marine sciences.

The journals with the highest number of articles are Sustainability, Climatic Change and Climate Policy journals. Similarly, Geng, Tian, Zhong, Wu, Yu, and Xiao (2018) found that Journal of Cleaner Production and Sustainability and Energy Policy journals were the journals that accepted the most publications on climate change. Wang, Zhao & Wang (2018) also states that the journal with the highest number of publications is Climatic Change, as in this study.

It was understood that the countries with the highest number of studies on climate change are United Kingdom, United States, Germany, Netherlands and Australia, respectively. Haunschild, Bornmann & Marx (2016) also found that the United States of America is the country with the highest number of articles on climate change, followed by England, Germany and Canada. Sweileh (2020) also found that France and the Netherlands are also the countries with the highest percentage of documents with international authors. It is understood that there are many studies

#### 4. Conclusions and Recommendations

Climate change continues to be one of the important problems of today's world. For this reason, it is seen that the subject, which finds a research area in different disciplines, is evaluated from a very broad perspective. Climate change, which has found a research area in fields such as agriculture, economy, engineering and genetics, especially in environmental sciences and social sciences, has become an area where more and more researches are carried out with the aim of creating a more livable world. In this case, researchers may be advised to focus on practical rather than theoretical research to solve the problem. On the other hand, if the climate change problem is considered to be a global problem, research funds that allow researchers from different countries to cooperate can be supported by governments in order to increase cooperation between countries. Attempts can be made to increase cooperation between researchers working in areas closely related to the subject, such as water management, agriculture, energy consumption, and researchers working in the field of climate change. Finally, considering that there is a huge increase in the number of articles on the subject, it can be said that there should be an increase in the number of master's and doctoral theses prepared in universities in order to deal with the subject scientifically.

#### References

Belter, C. W., & Seidel, D. J. (2013). A bibliometric analysis of climate engineering research. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 4(5), 417-427.

Çomaklı, E. (2021). Toprak organik karbonu ve toprak organik karbon stokları üzerine 1970-2021 yılları arasında yapılan araştırmaların bibliyometrik analizi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (25), 517-524

Gaviria-Marin, M., Merigó, J. M., & Baier-Fuentes, H. (2019). Knowledge management: A global examination based on

on the subject in European countries (Shen, Wei & Sheng, 2021; Polat, Duzgun & Yesiltas, 2019). The reason for this situation can be explained as the fact that these countries are more sensitive to climate change due to their industrial development. Soylu & Özkaya (2021) also recommends that more publications be made in terms of climate change and food safety in our country in order to comply with international norms and to protect and maintain public health.

The most striking keywords about climate change are adaptation around the concept of climate change, global warming, environment, water management and energy consumption. Similarly, it has been determined that the most used keywords by Sweileh (2020) are climate change, food security, drought, adaptation, agriculture and water scarcity. Haunschild, Bornmann & Marx (2016) also concluded that the word climate is the most used word as a result of the title analysis, and that the word impact has started to be used at very high rates over time. Again, Wu, Geng, Tian, Zhong, Wu, Yu & Xiao (2018) stated that greenhouse gas emissions, energy, water, health and transportation are the most used keywords. Wang, Zhao and Wang (2018) determined that climate change, adaptation, vulnerability, ecosystem, socio-economic system, agriculture, region, extreme situations, mitigation and sustainability are the most used keywords.

bibliometric analysis. *Technological Forecasting and Social Change*, 140, 194-220.

Hardy, J. T. (2003). *Climate change: causes, effects, and solutions*. John Wiley & Sons.

Haunschild, R., Bornmann, L., & Marx, W. (2016). Climate change research in view of bibliometrics. *Plos One*, 11(7), 1-19.

Huang, L., Chen, K., & Zhou, M. (2020). Climate change and carbon sink: a bibliometric analysis. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(8), 8740-8758.

IEA (International Energy Agency) (2008). *World Energy Outlook 2008*. OECD. Paris.

Karl, T. R., Melillo, J. M., Peterson, T. C., & Hassol, S. J. (Eds.). (2009). *Global climate change impacts in the United States*. Cambridge University Press.

Kirilenko, A. P., & Sedjo, R. A. (2007). Climate change impacts on forestry. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(50), 19697-19702.

Neubert, S. (2001). Wasser und Ernährungssicherheit. *Aus Politik und Zeitgeschichte*, 48-49, 13-22.

Omeregbe, O., Mustapha, A. N., Steinberger-Wilckens, R., El-Kharouf, A., & Onyeaka, H. (2020). Carbon capture technologies for climate change mitigation: A bibliometric analysis of the scientific discourse during 1998–2018. *Energy Reports*, 6, 1200-1212.

Polat, E., Düzgün, E., & Yeşiltaş, M. (2019). İklim değişikliğinin turizme etkisini belirlemeye yönelik hazırlanan lisansüstü tezlerin bibliyometrik profili. *Gümüşhane Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Elektronik Dergisi*, 10, 240-249.

Rana, I. A. (2020). Disaster and climate change resilience: A bibliometric analysis. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 101839.

Rey-Martí, A., Ribeiro-Soriano, D., & Palacios-Marqués, D. (2016). A bibliometric analysis of social entrepreneurship. *Journal of Business Research*, 69(5), 1651-1655.

Seyhan, M. (2021). Yönetmelik Bağlamında Yeşil İnovasyonun Evriminin Bibliyometrik Analizi. *Gaziantep University Journal of Social Sciences*, 20(2).

- Shen, C., Wei, M., & Sheng, Y. (2021). A bibliometric analysis of food safety governance research from 1999 to 2019. *Food Science Nutrition*, 1-19.
- Soylu, A. G., & Özkaya, F. D. (2021). İklim Değişikliği ve Gıda Güvenliği Konulu Hakem Denetimli Makalelerin Bibliyometrik Profili. *Türk Turizm Araştırmaları Dergisi*, 5(2), 1589-1602.
- Stenseth, N., Ottersen, G., Hurrell, J. W., & Belgrano, A. (2005). *Marine ecosystems and climate variation*. Oxford: Oxford University Press.
- Sweileh, W. M. (2020). Bibliometric analysis of peer-reviewed literature on food security in the context of climate change from 1980 to 2019. *Agriculture and Food Security*, 9(11), 1-15.
- UNEP (2001). *Climate change information kit*. <http://unfccc.int/resource/iuckit/cckit2001en.pdf>.
- Ünlü, İ., Sever, R., & Akpınar, E. (2011). Türkiye'de çevre eğitimi alanında yapılmış küresel ısınma ve sera etkisi konulu akademik araştırmaların sonuçlarının incelenmesi. *Erzincan Eğitim Fakültesi Dergisi*, 13(1), 39-54.
- VOSviewer. (2021). Welcome to VOSviewer. Centre for science and technology studies, leiden university. <https://www.vosviewer.com/>, Erişim Tarihi: 28.07.2021.
- Wang, B., Pan, S. Y., Ke, R. Y., Wang, K., & Wei, Y. M. (2014). An overview of climate change vulnerability: a bibliometric analysis based on Web of Science database. *Natural hazards*, 74(3), 1649-1666.
- Wang, Z., Zhao, Y., & Wang, B. (2018). A bibliometric analysis of climate change adaptation based on massive research literature data. *Journal of Cleaner Production*, 199, 1072-1082.
- Zhang, K., Wang, Q., Liang, Q. M., & Chen, H. (2016). A bibliometric analysis of research on carbon tax from 1989 to 2014. *Renewable and sustainable energy reviews*, 58, 297-310.



# Bebek Ağlamalarının Makine Öğrenmesi Yöntemleriyle Sınıflandırılması

Bengisu Şeyda Durak<sup>1\*</sup>, Levent Bayındır<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Erzurum, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-0716-6455), [bengisudurak2@gmail.com](mailto:bengisudurak2@gmail.com)

<sup>2</sup> Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Erzurum, Türkiye (ORCID: 0000-0001-7318-5884), [levent.bayindir@atauni.edu.tr](mailto:levent.bayindir@atauni.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 9 Ağustos 2021 ve Kabul Tarihi 10 Kasım 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.979526)

**ATIF/REFERENCE:** Durak, B., Bayındır, L. (2021). Bebek Ağlamalarının Makine Öğrenmesi Yöntemleriyle Sınıflandırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (27), 784-791.

## Öz

Bu çalışmada bebek ağlama seslerinden yararlanılarak, bebeklerin ihtiyaçlarını belirleyebilmek ve herhangi bir hastalığa maruz olup olmadıklarını öğrenmek için çeşitli makine öğrenmesi yöntemleri kullanılmıştır. Bebek ağlama sesleri için iki farklı veri kümesinden yararlanılmıştır. Veri kümeleri eğitim, öğrenme ve test aşamalarından geçtikten sonra ağlama türünün bulunması hedeflenmiştir. Ağlama seslerinin özniteliklerini çıkarmak için Mel Frekans Kepstrum Katsayıları (MFCC) ve Doğrusal Öngörü Kepstrum Katsayıları (LPCC) yöntemleri karşılaştırılmış ve MFCC yönteminin doğruluğu arttırmada LPCC'ye göre daha etkili olduğu bulunmuştur. Öznitelikleri çıkarılan ses sinyallerinin sınıflandırılma aşamasında makine öğrenme algoritmalarından k-En Yakın Komşuluk (k-NN) algoritması, Çok Katmanlı Algılayıcılar, Karar Ağacı ve Rastgele Orman algoritmaları kullanılmış ve başarı oranları karşılaştırılmıştır. Sonuçta MFCC ve Çok Katmanlı Algılayıcılar yöntemi kullanılarak %93 başarı oranı bulunmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Bebek ağlaması sınıflandırma, Makine öğrenmesi, MFCC, LPCC.

## Classification of Infant Cries with Machine Learning Methods

### Abstract

In this study, various machine learning methods were used to determine the needs of babies and to find out whether they were exposed to any disease by making use of baby crying sounds. Two different data sets were used for baby crying sounds. It is aimed to find the type of crying after the data sets go through the training, learning and testing stages. Mel Frequency Cepstral Coefficients (MFCC) and Linear Prediction Cepstral Coefficients (LPCC) methods were compared to extract the attributes of crying sounds, and the MFCC method was found to be more effective than LPCC in increasing accuracy. In the classification phase of the audio signals whose attributes were extracted, k-Nearest Neighborhood (k-NN) algorithm, Multilayer Perceptron, Decision Tree and Random Forest algorithms from machine learning algorithms were used and success rates were compared. As a result, a 93% success rate was found using MFCC and Multilayer Perceptron.

**Keywords:** Infant cry classification, Machine learning, MFCC, LPCC.

\* Sorumlu Yazar: [bengisudurak2@gmail.com](mailto:bengisudurak2@gmail.com)

## 1. Giriş

Yeni doğan bebeklerin iletişim kurabildiği ve duygularını ifade edebildiği tek yol ağlamaktır. Bu nedenle bebekler ihtiyaçlarının karşılanmasını istediklerinde ebeveynlerine ağlayarak belli ederler. Ağlama nedenleri açlık, uyku, yorgunluk, gaz sancısı, ağrı gibi nedenlerden kaynaklanabilir (Bănică vd., 2016). Pediatristler gibi uzman kişiler bebeğin ağlayış şekline gönderdiği mesajı kolay bir şekilde anlayabilir. Ancak ebeveynler için bebeğin ağlama sebebini belirleyebilmek pek kolay değildir. Bu, bebeklerin ihtiyaçlarına cevap vermek isteyen anne ve babalar için gerçek bir sorundur. Bebek ağlaması ile ilgili yapılan çalışmalar yıllardır devam etmekte ve farklı alanlarda ele alınmaktadır. Bebeğin psikolojik, fizyolojik, pediatrik durumunu öğrenmek için birçok farklı çalışma yapılmıştır.

Saha ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada gömülü bir cihaz yardımıyla bebek ağlama sesleri sınıflandırılmıştır. Cihaza bağlı olan harici bir mikrofon, bebeğin ağlama seslerini kaydeder ve cihaz ağlama nedenini açlık, ağrı, ıslak bebek bezi ve diğer ağlama türleri olarak göstermektedir (Saha vd., 2013). Başka bir çalışma yine bebeklerin ihtiyaçlarını tahmin etmek için 0-3 aylık 127 bebekten 6 tür ağlama içermektedir. Gauss Karışım modeli ile birlikte i-vektör algoritması (Dehak vd., 2011) kullanılarak yapılan deneylerde sınıfların (kolik, açlık, rahatsızlık, gaz sancısı, ağrı ve yorgunluk) birbirlerinden ayrıştırıcı olmadığı bulunmuş ve çalışmanın devamında birbirlerine daha çok karıştırılan rahatsızlık, açlık ve yorgunluk sınıfları kullanılmıştır. Sonuçta i-vektörlerin kullanıldığı deneyler ile rahatsızlık ağlamaları %5.7, açlık ağlamaları %67.9 ve ağrı çığlıklarının %70.4 oranında doğru bir şekilde sınıflandırıldığı bulunmuştur (Bănică vd., 2016).

2018 yılında yapılan bir çalışmada, Raspberry Pi kullanılarak bebeğin ağlama nedeninin açlık, ağrı ya da ateş olduğu belirlenmiştir. Çalışmada bir mikrofon yardımıyla ham ağlama sinyali kaydedilmiş ve sinyali işlemek için Raspberry Pi aygıtı kullanılmıştır. Ağlama sinyalinin tespitinde ses aktivitesi algılama (VAD) algoritması kullanılmakta ve sinyal sınıflandırıldıktan sonra sonuçlar bir ekranda görüntülenmektedir (Patil ve Kamerikar, 2018).

Başka bir çalışmada ise bebeğin neden ağladığını bulmak için bebeğin yüzünün görüntüsünden ve ağlama sesinden yararlanılan bir sistem tasarlanmıştır. Bu çalışmada acı, açlık, öfke, üzüntü ve korku nedeniyle ağlamalar sınıflandırılmıştır. Çalışmada bebeğin yüzü ve sesi bağımsız analiz edilip, bir füzyon sistemi ile birleştirilmiştir. Görüntü işleme sistem; ağız, gözler ve kaşlar gibi temel özelliklerden yararlanarak bebeğin ağlama nedenini tanımlamış ve sonuçta %64 doğruluk bulunmuştur. Ses işleme modülünde ise ağlama sesinin temel frekans (F0) ve formant frekans (F1, F2, F3) değerlerine bakılmış ve %74 doğruluk bulunmuştur. Sonuçta bu iki sistem birleştirilerek %75,2 doğruluk bulunmuştur (Pal vd., 2006).

Galaviz ve Garcia'nın yaptıkları çalışmada ise bebeğin duygu durumu yerine pediatrik durumunun belirlenmesi amaçlanmıştır. Normal, sağır ve asfiksi hastası bebeklerin sınıflandırılması yapılmış ve bebeklerin ağlama seslerinden doğdukları anda patolojik bir hastalığa sahip olup olmadıkları bulunmuştur. Normalde bebeklerin hastalıkları doğumdan sonra ilk bir yıl içinde tespit edilirken, bu çalışma sayesinde bebek doğduğu anda hastalık tespiti yapılabilmiş ve erken teşhis ile büyük ölçüde hastalıkların önüne geçilmiştir. Çalışmada Mel Frekans Kepstrum Katsayıları (MFCC) ve Doğrusal Öngörü Katsayıları (LPC)

yöntemleri karşılaştırılmış ve MFCC yöntemi ile %86 doğruluk oranı bulunmuştur (Reyes-Galaviz ve Reyes-Garcia, 2004).

Başka bir çalışmada yine bebek ağlama sesleri ve hastalıkların ilişkileri tespit edilmiş ve 0-7 aylık bebekler arasında normal ve asfiksi hastası bebeklerin sınıflandırılması yapılmıştır. Çalışmada çok katmanlı algılayıcıların sınıflandırma performansına en küçük kareler yönteminin etkisi tartışılmıştır. Sonuçta en küçük kareler yönteminin hesaplama yükünü azalttığı ve çok katmanlı algılayıcıların doğruluk oranını artırarak %94 doğruluk performansı bulunmuştur (Zabidi vd., 2010).

Yapılan diğer bir çalışmada normal ve sağır bebeklerin sınıflandırılması için doktorlar tarafından ICD-67 Sony dijital kayıt cihazlarıyla 31 bebekten toplanan ses kayıtları kullanılmıştır. İki farklı deney yapılmış ve ses kayıtları bir saniyelik ve üç saniyelik numunelere ayrılmıştır. MFCC yöntemi kullanılan çalışmada üç saniyelik numunelerle sınıflandırma doğruluğu, aynı parametre setini kullanan bir saniyelik numunelerden daha büyük çıkmış ve sonuçta %97.43 doğruluk oranı bulunmuştur (Garcia ve Reyes Garcia, 2003).

Lavner ve arkadaşlarının çalışmalarındaki amaç ise bebek ile bakıcı arasındaki iletişimi kolaylaştırmak ve aralarında bağ kurmalarını sağlamaktır. Çalışmada 0-6 aylık bebeklerin sesleri ev ortamında 7/24 kayıt altına alınmıştır. Lojistik Regresyon ve Evrişimli Sinir Ağları (CNN) olmak üzere iki farklı makine öğrenmesi algoritması karşılaştırılmıştır. Sonuçlar Evrişimli Sinir Ağlarının daha avantajlı olduğunu göstermektedir (Lavner vd., 2016).

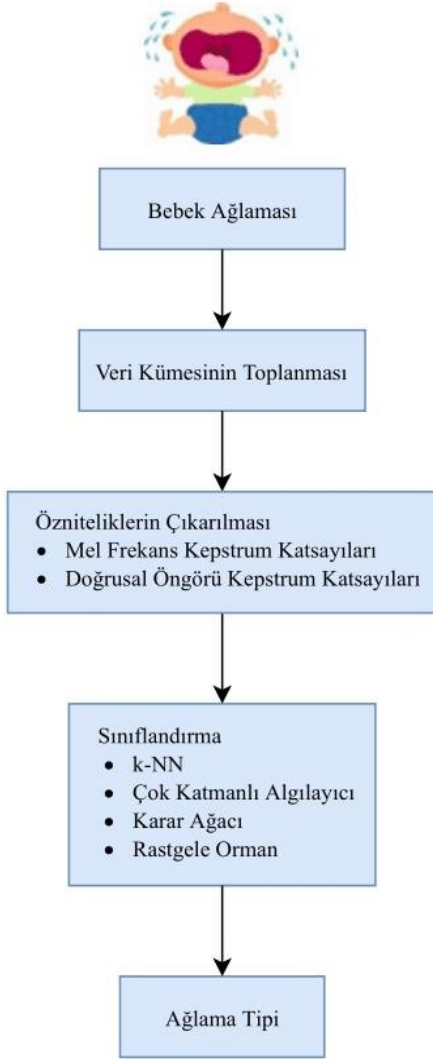
Myakala ve arkadaşlarının yaptığı Akıllı Ağlama Algılama Sistemi bir mikrofon ve Raspberry Pi 3 ile gerçek zamanlı olarak ağlama sinyallerini yakalayıp, sinyal işleme yapmaktadır. Sistem sınıflandırma işleminden sonra Wi-Fi üzerinden ebeveynlerin telefonlarına SMS gönderir. Bebeğin ihtiyacına göre SMS içeriği acil/çok acil gibi geri bildirimler de sunmaktadır. Bu da bebeklerin yanlarında olmayan ebeveynler için uzaktan bebeğin ihtiyaçlarını anlamada büyük kolaylık sağlamıştır (Myakala vd., 2017).

2020 yılında Bütüner'in yaptığı çalışmada sağır ve sağlıklı ebeveynlerin çocuklarının ihtiyaçlarını karşılayabilmeleri için bir uygulama geliştirilmiştir. Bu uygulamada makine öğrenmesi yöntemleri ile birlikte ses ve konuşma sistemlerinden yararlanılmıştır. Uygulama ses tanıma sisteminin sonucunda ekranda yazılı ve sesli olarak bebeğin ihtiyacını göstermekte ve engelli ebeveynler için büyük kolaylık sağlamaktadır (Bütüner, 2020).

Bugüne kadar yapılan çalışmalara bakıldığında teknolojinin gelişmesiyle birlikte ses tanıma sistemlerinin birçok alanda kullanıldığı ve yapılan çalışmaların makine öğrenmesi yöntemleri ile başarılı sonuçlar verdiği görülmektedir. Bu çalışmada, farklı tür ağlama seslerini makine öğrenmesi yöntemleri kullanarak sınıflandıran otomatik bebek ağlama tanıma sistemi oluşturulmuştur. İki ayrı bebek ağlaması veri kümesi üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Ağlama sesleri çeşitli öznelik çıkarma ve sınıflandırma aşamalarından geçerek bebeğin neden ağladığının bulunması ve bebek dilinin anlaşılması hedeflenmektedir. Kullanılacak olan öznelik çıkarma ve sınıflandırma yöntemlerinin başarı oranlarının karşılaştırılması amaçlanmaktadır.

## 2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada bebek ağlama seslerinin sınıflandırılması için Python programlama dili tercih edilmiş ve Jupyter Notebook platformu kullanılmıştır. Çalışma bebek ağlaması veri kümesinin oluşturulması, özniteliklerin çıkarılması ve sınıflandırma olmak üzere üç temel aşamadan oluşmaktadır. Bu aşamalar Şekil 1’de gösterilmekte ve alt başlıklar halinde aşağıda açıklanmaktadır.



Şekil 1. Bebek Ağlama Tipi Sınıflandırma Sistemi Adımları

### 2.1. Veri Kümesinin Toplanması

Bu çalışmada bebek ağlama tipi sınıflandırılması için iki ayrı veri kümesi kullanılmıştır. Birinci veri kümesi “.wav” uzantılı, 1 sn uzunluğundaki ses dosyalarından oluşan hazır bir veri kümesidir ve Baby Chillanto (Reyes-García, 2006) veri kümesi olarak bilinmektedir. Veri kümesinde toplam 5 sınıf ve 2268 bebek ağlama sesi bulunmaktadır. İkinci veri kümesi ise İnternet üzerinde bulunan videolarda tespit edilen bebek ağlama seslerinin kesilmesi ile “.wav” uzantılı, 3-5 sn uzunluk aralıklarındaki ses dosyalarından oluşturulmuştur. Veri kümesinde toplam 3 sınıf ve 134 bebek ağlama sesi bulunmaktadır. Oluşturulan veri kümelerinin ağlama türlerine göre dağılımı Tablo 1’de gösterilmiştir.

Tablo 1. Veri Kümelerinin Özellikleri

Veri Kümesi-1	
Sınıf	Örnek Sayısı
<i>Aç</i>	350
<i>Acı çeken</i>	192
<i>Normal</i>	507
<i>Asfiksi</i>	340
<i>Sağır</i>	879
<b>Toplam</b>	<b>2268</b>
Veri Kümesi-2	
Sınıf	Örnek Sayısı
<i>Aç</i>	30
<i>Uykulu</i>	47
<i>Kolik</i>	57
<b>Toplam</b>	<b>134</b>

### 2.2. Özniteliklerin Çıkarılması

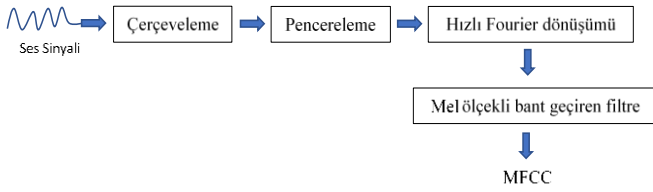
Bebek ağlama seslerini sınıflandırma yapmadan önce ses kayıtlarının özniteliklerinin oluşturulması gereklidir. Özniteliklerin çıkarılmasının amacı sinyaldeki akustik özelliklerden ödün vermeden yüklü miktardaki karmaşık veriyi özetlemektir (Başbuğ, 2019). Bu çalışmada özniteliklerin çıkarılması için Mel Frekans Kepstrum Katsayıları (MFCC) ve Doğrusal Öngörü Kepstrum Katsayıları (LPCC) yöntemleri kullanılmaktadır ve bu yöntemler aşağıda alt başlıklar halinde açıklanmıştır.

#### 2.2.1. Mel Frekans Kepstrum Katsayıları (MFCC)

MFCC yöntemi, ses tanıma problemlerinde en çok kullanılan öznitelik çıkarma yöntemlerinden biridir. Bu yöntem, insan kulağının sesi algılama şeklini taklit eder. İnsan kulağının hassasiyeti 1 kHz’e kadar doğrusal daha yüksek değerler için ise logaritmik olarak devam etmektedir. Gerçek frekans birimi Hertz ile frekans birimi Mel arasındaki dönüşüm Denklem 1 ile sağlanmaktadır (Karasartova, 2011).

$$mel(f) = 2595 * \log\left(1 + \frac{f}{700}\right) \quad (1)$$

MFCC yöntemi ile öznelikleri çıkarma aşamaları Şekil 2'deki blok diyagramında gösterilmiştir.



Şekil 2. MFCC Öznelik Çıkarma Yönteminin Aşamaları

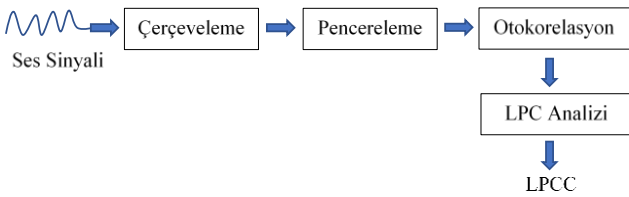
MFCC'nin ilk adımı olan çerçeveleme adımında, ses sinyali belirli zaman aralıklarına bölünür. Bunun nedeni yapılan çalışmalara göre sesin, 10-30 msn arasında karakteristik özelliklerini göstermesinden kaynaklanmaktadır. Zaman aralıklarına bölünen sese bir örtüşme oranı uygulanır. Örtüşme, çerçevelerin sonundaki önemli bilgilerin kaybolmaması için uygulanır.

İkinci adım olan pencerelemede amaç çerçeveler arasındaki geçişte sürekliliği sağlamaktır. Yaygın olarak kullanılan pencereleme yöntemleri; Kaiser, Hamming, Hanning, Dikdörtgen, Blackman yöntemidir (Eray, 2008). Pencerelemeden sonraki aşama her çerçeveye Hızlı Fourier Dönüşümü (FFT) uygulamaktır. FFT ile n örnekten oluşan zaman alanındaki her çerçeve, frekans alanına çevrilir (Ahmed ve Koçer, 2019).

FFT alınmış olan ses sinyali son aşamada üçgenel pencereler şeklindeki Mel ölçekli filtreden geçirilir ve Mel frekans kepstumu hesaplanır (Karasartova, 2011). Mel frekans kepstumu, bir ses sinyalinin güç spektrumunun kısa vadeli bir temsilidir (Ahmed ve Koçer, 2019). Son aşamada bulunan katsayılar ile öznelik vektörü oluşturulur.

### 2.2.2. Doğrusal Öngörük Kepstrum Katsayıları (LPCC)

LPCC yöntemi, ağlama sinyalinin geçmiş örneklerine bakılarak yeni gelen ağlama sinyalinin belirli aşamalardan geçerek tanımlanmasıdır. LPCC yönteminin aşamaları Şekil 3'deki blok diyagramında gösterilmiştir.



Şekil 3. LPCC Öznelik Çıkarma Yönteminin Aşamaları

LPCC yönteminin çerçeveleme ve pencereleme adımları MFCC yöntemi ile aynıdır. Pencerelemiş her bir ses sinyaline otokorelasyon analizi yapılır. Otokorelasyon bir çerçevenin enerjisini belirlemede önemli rol oynar ve ses tanıma sistemlerimde önemli bir işlemdir. Otokorelasyon adımından sonra Doğrusal Öngörük Kodlama (LPC) analizi yapılır. LPC analizi, sıradaki ses örneğinin geçmiş p örneklerine bakarak ağırlıklandırılmış doğrusal kombinasyonu ile Denklem 2'deki gibi hesaplanmaktadır (Eray, 2008).

$$S(n) = \sum_{i=1}^p a_i s(n-i) \quad (2)$$

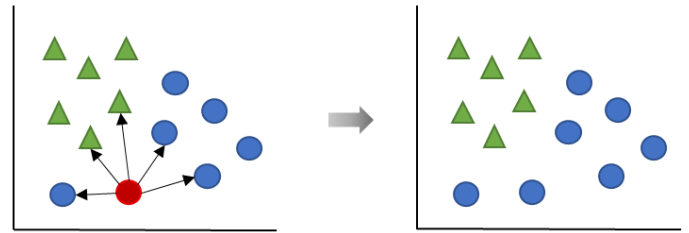
Burada S (n), n zamandaki ses örneği, p LPC'nin derecesi ve  $a_i$  LPC katsayıları olarak ifade edilir. LPC analizi sonucunda oluşan katsayılar ile öznelik vektörü oluşturulur.

## 2.3. Sınıflandırma

Öznelikleri çıkarılan ağlama seslerinin son aşamada hangi sınıfa ait olduklarını bulmak için dört farklı sınıflandırma algoritması üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Bu algoritmalar alt başlıklar halinde aşağıda açıklanmaktadır.

### 2.3.1. K En Yakın Komşuluk (k-NN) Algoritması

K en yakın komşuluk (k-NN) algoritması, sınıflandırma ve regresyon problemlerinde sık kullanılan algoritmalarındadır. Algoritma, sınıfları belirli olan örnek veri kümesi kullanır ve veri kümesine yeni katılacak olan verinin en yakın komşuluklarına bakarak sınıfını belirler. Örneğin k=5 olursa yeni gelen veri sınıflandırılırken en yakın 5 nokta belirlenir ve bunların içinde en fazla hangi sınıf varsa yeni verinin sınıfı o olur. k-NN algoritmasının çalışmasına dair sembolik bir örnek Şekil 4'de gösterilmektedir. Yeni gelen kırmızı örneğin hangi sınıfa ait olduğunu bulmak için en yakın 5 komşusuna (k=5) bakıldığında komşuların 2 tanesinin yeşil üçgen, 3 tanesinin ise mavi yuvarlak sınıfı olduğu görülecektir. Bu durumda en çok komşu mavi sınıfta olduğundan yeni gelen örnek mavi yuvarlak olarak sınıflandırılır.



Şekil 4. k-NN En Yakın Beş Komşuluk

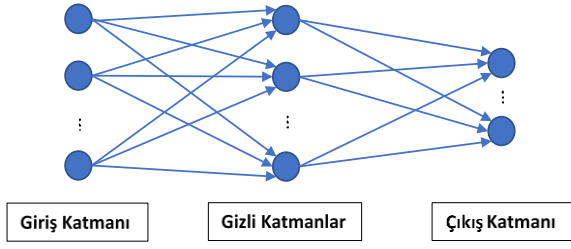
Yeni gelen verinin en yakınındaki komşuluklarına olan uzaklıklarının hesabı için farklı mesafe fonksiyonları kullanılır: Euclidean (Öklid), Manhattan, Minkowski ve Chebyshev. Bu yöntemlerden iki nokta arasındaki mesafe ölçümünde kullanılan Öklid fonksiyonu Denklem 3'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$d(i, j) = \sqrt{\sum_{k=1}^n (x_{ik} - x_{jk})^2} \quad (3)$$

### 2.3.2. Çok Katmanlı Algılayıcı Algoritması

Çok Katmanlı Algılayıcılar, en az üç farklı katmandan oluşan ileri beslemeli yapay sinir ağlarıdır. Çok katmanlı algılayıcı algoritması giriş katmanı, gizli katmanlar ve çıkış katmanından oluşur. Sisteme verilen girdi, ara katmanlar olan gizli katmanlardan geçerek çıktı katmanına ulaşır. Girdi katmanı verilerin okunduğu katman, gizli katmanlar ise verilerin ara işlemlerden geçtiği katmandır. Bu katmanların sayısı ve her bir gizli katmanda bulunan nöronların sayısı eğitim aşamasında elde edilen ara sonuçlara göre optimize edilmelidir. Son katman olan çıktı katmanı ise sınıfların olduğu katmandır ve sınıf sayısı kadar nöron içerir (Kaynar vd., 2016). Çok katmanlı algılayıcılara ait sembolik mimari Şekil 5'de gösterilmektedir.





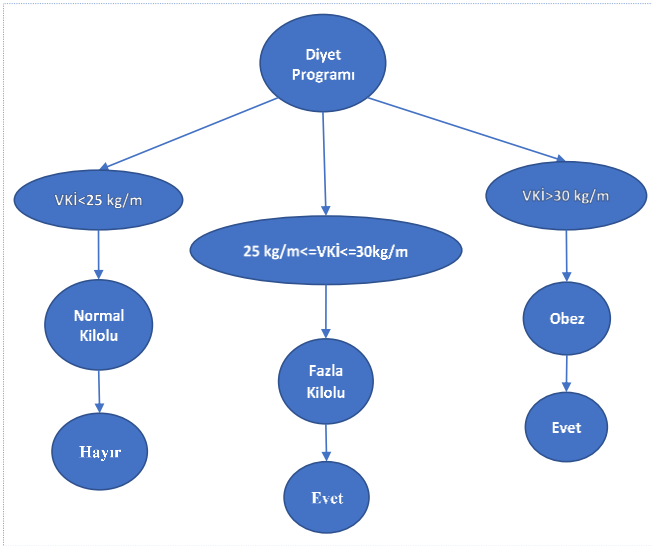
Şekil 5. Çok Katmanlı Algılayıcıların Yapısı

### 2.3.3. Karar Ağacı Algoritması

Yaygın olarak kullanılan başka bir sınıflandırma algoritması Karar Ağacı algoritmasıdır. Bu algoritmada sınıf etiketleri bilinen veri örnekleri kullanılarak kural tabanlı bir ağaç yapısı oluşturulmaya çalışılır. Ağacın en üstteki bileşenine kök, uçlardaki bileşenlerine yaprak ve aradaki bileşenlere ise dal adı verilir.

Bu yöntem, en iyi tahmini elde edebilmek için bağımlı ve bağımsız değişkenler arasında olan tüm ilişkileri araştırır ve en kuvvetli ilişkiye sahip olan bağımsız değişkeni bulduğunda, veri kümesi bu bağımsız değişkenin değerlerine göre ikiye ayrılır. Söz konusu bu süreç olası tüm bölümler tamamlanıncaya kadar devam ettirilir. (Büyükarıkan, 2020).

Şekil 6’da karar ağacı algoritmasına örnek bir problem gösterilmiştir. Bu örnekte vücut kitle indeksine (VKİ) göre diyet programına uyması gereken kişilerin bulunduğu karar ağacı verilmiştir. Burada diyet programı 3 farklı koşul içerir: Vücut kitle indeksi 25’ten küçük olanlar, 25-30 arası ve 30’dan fazla olanlar. Örneğin kişi “Normal Kilolu” ise diyet programına uymaz, ancak “Fazla Kilolu” veya “Obez” ise diyet programına uyması gerekir.



Şekil 6. Karar Ağacı Örneği

### 2.3.4. Rastgele Orman Algoritması

Rastgele Orman algoritması, her ağacın bağımsız olarak örneklenen rastgele bir vektörün değerlerine bağlı olarak üretildiği ve ormandaki tüm ağaçlar için aynı dağılıma sahip olduğu ağaç sınıflandırıcılarının birleşimidir (Breiman, 2001).

Algoritma, her düğümde kullanılacak değişken sayısı (m) ve sınıflandırma ağaçlarının sayısı (n) olmak üzere 2 parametreye ihtiyaç duyar. Rastgele orman algoritması, yeni gelen veriyi sınıflandırmak için istenen sınıflandırma ağaçlarının sayısında (m) rastgele seçilmiş öngörücü değişken kullanır ve veri kümesindeki her örnek n sayısı kadar ağaç tarafından sınıflandırılır. Her bir karar ağacının sınıflandırma sonuçlarına bakıldığında en sık bulunan değere göre yeni gelen verinin sınıfı belirlenir (Rodriguez-Galiano vd., 2012).

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Bu çalışmada bebek ağlama seslerinin özniteliklerini çıkarmak için MFCC ve LPCC öznitelik yöntemleri karşılaştırılmıştır. MFCC ve LPCC öznitelik sayıları performans olarak daha iyi sonuç verdiği için 40 olarak alınmıştır. Deneysel bulgular MFCC algoritmasının sınıflandırma aşamasında daha verimli performans verdiğini göstermektedir.

Öznitelikleri çıkarılan ağlama seslerini sınıflandırma aşamasında k-NN, çok katmanlı algılayıcılar, karar ağacı ve rastgele orman yöntemleri ile iki farklı veri kümesi üzerinde deneyler yapılmıştır. Deneysel olarak en iyi sonuçların bulunduğu parametreler Tablo 2’de gösterilmektedir. k-NN yönteminde k değeri için 1, 2, 3, 4 ve 5 sayıları denenmiş ve en yüksek performans k=3 için bulunduğu için çalışmanın devamında bu değer kullanılmıştır.

Tablo 2. Sınıflandırma Yöntemlerinde Kullanılan Parametreler

Sınıflandırma Yöntemlerinin Parametreleri		
Sınıflandırma Yöntemi	Parametre	Parametre Değeri
k-NN	k	3
Çok Katmanlı Algılayıcılar	Katman Sayısı	3
	Giriş Katmanı Nöron Sayısı	40
	Gizli Katman Nöron Sayısı	256
	Çıkış Katmanı Nöron Sayısı	Sınıf Sayıları Kadar
Rastgele Orman	Optimizasyon Yöntemi	Adam
	Ağaç sayısı	400

MFCC ve LPCC yöntemleri ile veri kümeleri üzerinde yapılan deneylerin performanslarını ölçmek için doğruluk (accuracy), kesinlik (precision), duyarlılık (recall), F1 skoru (F1 score) ve dengeli doğruluk (balanced accuracy) değerleri karmaşıklık matrisi (confusion matrix) kullanılarak hesaplanmıştır. Karmaşıklık matrisinin yapısı Tablo 3’te gösterilmiştir.

**TP:** Tahmin edilen değer pozitif ve doğru  
**TN:** Tahmin edilen değer negatif ve doğru  
**FP:** Tahmin edilen değer pozitif ve yanlış  
**FN:** Tahmin edilen değer negatif ve yanlış

Tablo 3. Karmaşıklık Matrisi Tablosu

		Gerçek Değerler	
		Pozitif	Negatif
Tahmin Edilen Değerler	Pozitif	TP	FP
	Negatif	FN	TN

$$Doğruluk = \frac{TP+TN}{TP+FP+TN+FN} \quad (4)$$

$$Kesinlik = \frac{TP}{TP+FP} \quad (5)$$

$$Duyarlılık = \frac{TP}{TP+FN} \quad (6)$$

$$F1 = 2 \times \frac{Kesinlik \times Duyarlilik}{Kesinlik + Duyarlilik} \quad (7)$$

$$Dengeli Doğruluk = \frac{1}{2} \times \left( \frac{TP}{TP+FN} + \frac{TN}{TN+FP} \right) \quad (8)$$

Tablo 4 ve Tablo 5'te iki farklı veri kümesi kullanılarak farklı sınıflandırma yöntemleri ile hesaplanan doğruluk, kesinlik, duyarlılık, F1 skoru ve dengeli doğruluk sonuçları gösterilmiştir. Veri kümesi-1 ile yapılan deneylerde, MFCC yöntemi ile çok katmanlı algılayıcılar sınıflandırıcının %93 doğruluk, %93 kesinlik, %92 duyarlılık, %92 F1 skoru %87 dengeli doğruluk değeri ile en iyi şekilde çalıştığını görebiliriz.

Tablo 4. MFCC Yöntemi Kullanarak Farklı Sınıflandırma Yöntemlerinin Karşılaştırılması

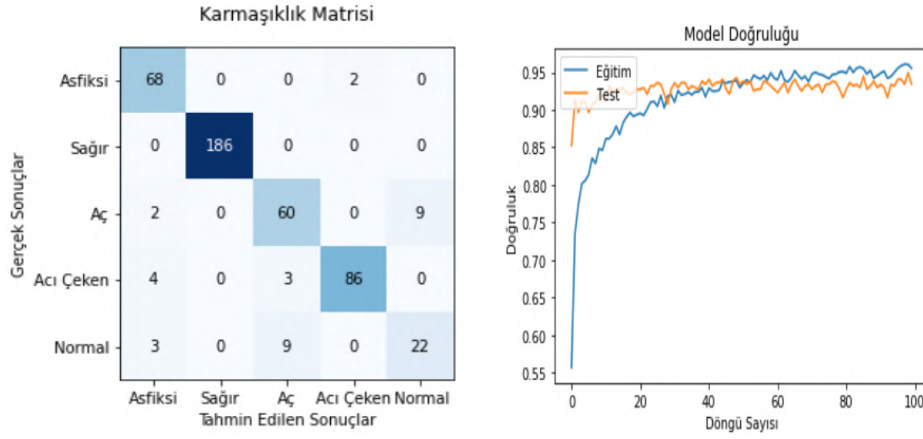
Veri Kümesi-1					
Yöntem	Doğruluk	Kesinlik	Duyarlılık	F1	Dengeli Doğruluk
3-NN	%91	%92	%91	%91	%85
Çok Katmanlı Algılayıcılar	%93	%93	%92	%92	%87
Karar Ağacı	%87	%87	%87	%87	%88
Rastgele Orman	%90	%96	%90	%93	%84
Veri Kümesi-2					
Yöntem	Doğruluk	Kesinlik	Duyarlılık	F1	Dengeli Doğruluk
3-NN	%88	%88	%88	%88	%90
Çok Katmanlı Algılayıcılar	%88	%85	%88	%87	%85
Karar Ağacı	%62	%62	%62	%62	%67
Rastgele Orman	%62	%94	%62	%75	%76

Tablo 5. LPCC Yöntemi Kullanarak Farklı Sınıflandırma Yöntemlerinin Karşılaştırılması

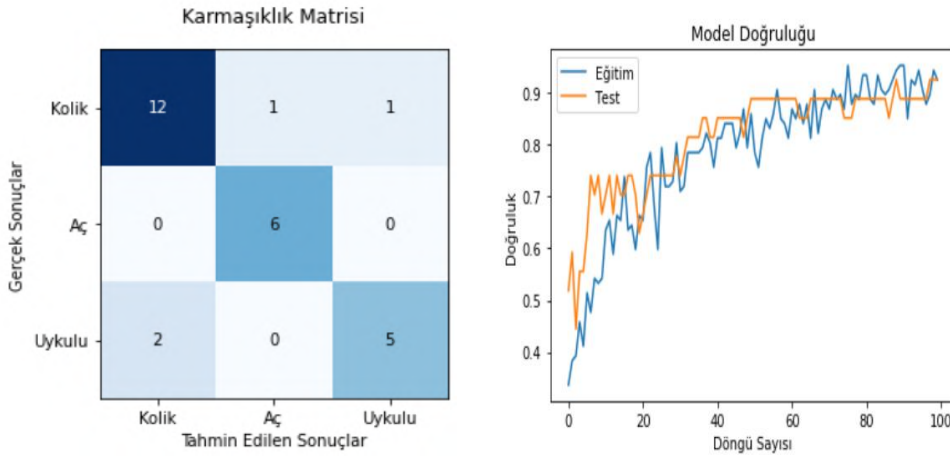
Veri Kümesi-1					
Yöntem	Doğruluk	Kesinlik	Duyarlılık	F1	Dengeli Doğruluk
3-NN	%63	%71	%63	%66	%55
Çok Katmanlı Algılayıcılar	%60	%77	%64	%70	%54
Karar Ağacı	%58	%58	%58	%58	%48
Rastgele Orman	%53	%87	%53	%66	%52
Veri Kümesi-2					
Yöntem	Doğruluk	Kesinlik	Duyarlılık	F1	Dengeli Doğruluk
3-NN	%66	%69	%66	%67	%62
Çok Katmanlı Algılayıcılar	%70	%75	%81	%78	%75
Karar Ağacı	%62	%62	%62	%62	%68
Rastgele Orman	%70	%79	%70	%74	%64

İki farklı veri kümesi üzerinde yapılan deneyler sonucunda en yüksek performansları veren MFCC öznelik çıkarım yöntemi ile çok katmanlı algılayıcılar sınıflandırma yönteminin iki farklı veri

kümesinde hesaplanan karmaşıklık matrisi ve doğruluk performansları Şekil 7'de ve Şekil 8'de gösterilmektedir.



Şekil 7. Veri Kümesi-1 ile Hesaplanan Karmaşıklık Matrisi ve Doğruluk Test Sonucu



Şekil 8. Veri Kümesi-2 ile Hesaplanan Karmaşıklık Matrisi ve Doğruluk Test Sonucu

#### 4. Sonuç

Bu çalışmada bebek ağlama seslerinin sınıflandırılıp bebeğin ihtiyacının belirlenmesi ve aynı zamanda bebeğin doğduğunda sağrlık, kolik, asfiksi gibi hastalıklara maruz olup olmadığını belirlemek için makine öğrenmesi yöntemleri ile deneyler yapılmıştır. İlk aşamada öznelikleri çıkarmak için MFCC ve LPCC yöntemleri karşılaştırılmıştır. Sonuçta LPCC yönteminin aksine MFCC yöntemi, insan kulağının duyma yönteminden esinlendiği için performansının LPCC'ye göre daha yüksek olduğu bulunmuştur. Ayrıca LPCC yönteminin daha küçük veri kümesi olan Veri Kümesi-2'de daha yüksek performans gösterdiği bulunmuştur. Çalışmanın devamı olan sınıflandırma aşamasında ise k-NN, çok katmanlı algılayıcılar, karar ağacı ve rastgele orman algoritmaları karşılaştırılmıştır. İki ayrı veri kümesi üzerinde yapılan deneylere göre en yüksek performansları çok katmanlı algılayıcılar yönteminin verdiği bulunmuştur. Sonuçta Veri Kümesi-1 kullanılarak, MFCC yöntemi ve çok katmanlı algılayıcılar yöntemi ile yapılan deneyde %93 başarı oranı bulunmuştur. Bu sonuç ebeveynlerin bebek ağlama seslerini tanımlayabilmeleri ve aynı zamanda sağrlık, kolik, asfiksi gibi hastalıkların erken teşhisi için büyük oranda kolaylık sağlamaktadır.

Bu sistemi ebeveynlerin daha kolay bir şekilde kullanabilmesi için mikrofon vb. donanımlar yardımı ile projenin geliştirilmesi ve sınıf sayılarının artırılması planlanmaktadır. Diğer yandan farklı öznelik ve sınıflandırma yöntemleri de kullanılarak daha iyi sonuçlar elde edilebilir.

#### Kaynakça

- Ahmed, M. C. and Koçer, H. E. (2019). Turkish Speech recognition using Mel-frequency cepstral coefficients(MFCC) and Hidden Markov Model (HMM). *Veri Bilimi Dergisi*, 2(2), 39-44.
- Bănică, I.-A., Cucu, H., Buzo, A., Burileanu, D. and Burileanu, C. (2016). Baby cry recognition in real-world conditions. *2016 39th International Conference on Telecommunications and Signal Processing (TSP)*, 315-318. Vienna. doi:10.1109/TSP.2016.7760887
- Başbuğ, A. M. (2019). Ses olayı tanıma ve akustik sahne geri getiriimi. Yüksek Lisans Tezi, Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Breiman, L. (2001). Random Forests. *Machine Learning*, 45, 5-32. doi:https://doi.org/10.1023/A:1010933404324
- Bütüner, R. (2020). Yapay zeka yöntemleri ile bebek seslerinin tahmin edilmesi. *Journal of Information Systems and Management Research*, 2(1), 32-41.

- Büyükarıkan, U. (2020). Finansal performansa etki eden finansal değişkenlerin CHAID karar ağacıyla belirlenmesi: tekstil sektörü örneği. *Aydın İktisat Fakültesi Dergisi*, 5(1), 1-10.
- Dehak, N., Kenny, P., Dehak, R., Dumouchel, P. and Ouellet, P. (2011). Front-End Factor Analysis for Speaker Verification. *IEEE Transactions on Audio, Speech, and Language Processing*, 19(4), 788-798. doi:10.1109/TASL.2010.2064307
- Eray, O. (2008). Destek vektör makineleri ile ses tanıma uygulaması. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- Garcia, J. O. and Reyes Garcia, C. A. (2003). Mel-frequency cepstrum coefficients extraction from infant cry for classification of normal and pathological cry with feed-forward neural networks. *Proceedings of the International Joint Conference on Neural Networks*, 3140-3145. Portland. doi:10.1109/IJCNN.2003.1224074
- Güldal, H. ve Çakıcı, Y. (2017). Ders yönetim sistemi yazılımı kullanıcı etkileşimlerinin sınıflandırma algoritmaları ile analizi. *Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 21(4), 1355-1367.
- Karasartova, S. (2011). Metinden bağımsız konuşmacı tanıma sistemlerinin incelenmesi ve gerçekleştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Kaynar, O., Görmez, Y., Yıldız, M. ve Albayrak, A. (2016). Makine öğrenmesi yöntemleri ile duygu analizi. *International Artificial Intelligence and Data Processing Symposium*, 234-241. Malatya.
- Lavner, Y., Cohen, R., Ruinskiy, D. and IJzerman, H. (2016). Baby cry detection in domestic environment using deep learning. *2016 IEEE International Conference on the Science of Electrical Engineering (ICSEE)*, 1-5. Eilat. doi:10.1109/ICSEE.2016.7806117
- Myakala, P. R., Nalumachu, R., Sharma, S. and Mittal, V. K. (2017). An intelligent system for infant cry detection and information in real time. *2017 Seventh International Conference on Affective Computing and Intelligent Interaction Workshops and Demos (ACIIW)*, 141-146. San Antonio. doi:10.1109/ACIIW.2017.8272604
- Pal, P., Iyer, A. N. and Yantorno, R. E. (2006). Emotion detection from infant facial expressions and cries., 721-724. Toulouse. doi:10.1109/ICASSP.2006.1660444
- Patil, M. S. and Kamerikar, U. A. (2018). Cause estimation of neonatal cry using raspberry pi. *International Journal of Applied Engineering Research*, 13(12), 10722-10726.
- Reyes-Galaviz, O. F. and Reyes-Garcia, C. A. (2004). A system for the processing of infant cry to recognize pathologies in recently born babies with neural networks. *9th International Conference on Speech and Computer*. St. Petersburg.
- Reyes-García, C. A. (2006). Baby Chillanto Database. Mexican National Institute of Author Rights (INDAUTOR).
- Rodriguez-Galiano, V. F., Ghimire, B., Rogan, J., Chica-Olmo, M. and Rigol-Sanchez, J. P. (2012). An assessment of the effectiveness of a random forest classifier for land-cover classification. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 67(0924-2716), 93-104. doi:10.1016/j.isprsjprs.2011.11.002
- Saha, B., Purkait, P. K., Mukherjee, J., Majumdar, A. K., Majumdar, B. and Singh, A. K. (2013). An embedded system for automatic classification of neonatal cry. *2013 IEEE Point-of-Care Healthcare Technologies (PHT)*, 248-251. Bangalore. doi:10.1109/PHT.2013.6461331
- Zabidi, A., Khuan, L. Y., Mansor, W., Yassin, I. M. and Sahak, R. (2010). Classification of infant cries with asphyxia using multilayer perceptron neural network. *2010 Second International Conference on Computer Engineering and Applications*, 204-208. Bali. doi:10.1109/ICCEA.2010.47



# Kötücül Web Sayfalarının Tespitinde Doc2Vec Modeli ve Makine Öğrenmesi Yaklaşımı

Recep Sinan Arslan<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> Kayseri Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Kayseri, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-3028-0416), [sinanarslanemail@gmail.com](mailto:sinanarslanemail@gmail.com)

(İlk Geliş Tarihi 11 Ağustos 2021 ve Kabul Tarihi 6 Ekim 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.981450)

**ATIF/REFERENCE:** Arslan, R.S. (2021). Kötücül Web Sayfalarının Tespitinde Doc2Vec Model ve Makine Öğrenmesi Yaklaşımı. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (27), 792-801.

## Öz

Günümüzde birçok işlem dijital ortama taşınmakta ve verilerimizi bu ortamda korumak zorlaşmaktadır. Birçok cihazın internete bağlı olması web güvenliği için büyük bir sorun olmaktadır. İnternet kaynaklı saldırıları başlatmanın en yaygın yolu da kötü amaçlı URL adreslerini kullanmaktır. Kötücül faaliyette bulunan korsanlar bu amaçla hazırladıkları web sitelerini kullanarak birçok veriyi elde etmektedirler. Bu tür kötü amaçlı URL adreslerini veya web sitelerini tespit etmenin geleneksel yolu kara liste kullanmaktır. Ancak bu yöntem yeni oluşturulan kötü amaçlı URL'lerin tespit edilmesinde başarılı olmamaktadır. Bu çalışmada, kötücül URL adreslerinin tespitinde verimliliği artırmak ve kara liste gibi bir takım veri tabanlarına bağımlılığı önlemek için makine öğrenmesi kullanan bir yaklaşım önerildi. Makine öğreniminde sınıflandırma için farklı algoritmalar denenirken, özellik çıkarımı için Doc2Vec yaklaşımı kullanılmıştır. Sadece URL adreslerinden elde edilen özellikler kullanılarak sınıflandırma yapılmaktadır. ISCX2016URL veri seti ile yapılan testlerin birinci aşamasında URL adresinin kötücül ve iyicil olarak sınıflandırma için Logistic Regresyon algoritması ile %99,2 doğruluk yakalanırken, kesinlik, duyarlılık ve F-skoru değerlerinde sırasıyla %98,9, %99,1 ve %99,2 değerleri yakalanmıştır. Testlerin ikinci aşamasında ise kötücül URL adreslerinin spam, kimlik avı, kötücül amaçlı yazılım dağıtan ve tahrif edilmiş sınıflarına aitlikleri test edilmiştir. Sonuçta SVC sınıflandırıcı ile %88,1 doğruluk ile kötücül URL adresleri sınıflandırılmıştır. Sonuçta ortaya çıkan modeli herhangi bir vekil sunucuda veya bir ağ denetleyici platforma üzerinde uygulamak mümkündür.

**Anahtar Kelimeler:** Tekdüzen kaynak bulucu(URL), Doc2Vec, Web güvenliği, Makine öğrenmesi, URL filtreleme.

## A Detection Method for Malicious Web Pages using Doc2vec Model and Machine Learning

### Abstract

Today, many transactions are transferred to the digital environment and it is difficult to protect our data in this environment. Due to the fact that many things are connected to the internet, web security is emerging as a big problem. The most common way to initiate Internet-borne attacks is using malicious URL addresses. Hackers engaged in malicious activity obtain a lot of data with using the websites they have prepared for this purpose. The traditional way to detect such malicious URL addresses or websites is using a blacklist. However, this method does not succeed in detecting newly created malicious URLs. In this study, an approach using machine learning is proposed to increase efficiency in detecting malicious URLs and prevent dependence on some databases such as blacklists. While different machine learning algorithms is used for classification, Doc2Vec approach is used for feature extraction. Classification is made using only the features obtained from URL addresses. In the first stage of the tests conducted with the ISCX2016URL data set, URLs are classified as malicious or benign. With the Logistic Regression algorithm, 99.2% accuracy was achieved, while the precision, recall and F-score values were 98.9%, 99.1% and 99.2%, respectively. In the second stage of the tests, the malicious URLs belonging to the classes spam, phishing, malware and defacement are tested. Malicious URLs are classified with SVC with 88.1% accuracy. It is possible to implement the resulting model on any Proxy server or on a network controller platform.

**Keywords:** Uniform resource locators (URLs), Doc2Vec, Web security, Machine learning, URL filtering.

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

## 1. Giriş

Web tabanlı hizmetlerin yaygınlaşması ile birlikte, bulut veya her yerden erişilebilir sistemler için web uygulamaları oluşturulmaktadır ve klasik tipteki masaüstü uygulamalarından web uygulamalarına geçiş oldukça hızlı olmuştur. İnsanların sosyalleşme, bilgi arama, paylaşma, forum, e-ticaret hizmetleri gibi birçok günlük aktivitelerde web uygulamalarına bağımlılıkları artmıştır. Amaç herkes için daha kolay kullanılabilir sistemler yaratmaktır. Kullanıcı isteklerine göre dinamik yanıtlar üretme aşamasına gelindiğinde güvenlik konusunda problemler sayfa kullanıcıları için bilgi güvenliğinde tehlikeyi beraberinde getirmektedir. Web tasarımcıları sınırlı güvenlik bilgileri ve sınırlı ve suni test ortamları ile uygulamaları geliştirmektedirler ve sonuçta ortaya çıkan web sayfalarında birçok potansiyel tehdit oluşabilmektedir. Kötü amaçlı saldırganlarda bu potansiyeli değerlendirip, güvenlik açıklarından yararlanırlar. Kötü amaçlı web siteleri kullanıcıları kötü amaçlı bir yazılımı bilgisayara indirmeleri için yönlendirme, gizli bilgilerini kaybetmesine neden olma, daha büyük saldırılar için bir nokta olarak kullanma gibi farklı durumlara neden olabilirler. Bu sebeplerle web saldırıları yaygındır ve bu web sitelerinin tespit edilmesi ve sınıflandırılması beklenmektedir (Chia-Mei ve ark., 2015).

Web sayfalarının sınıflandırılması, ilgili web sayfasının özelliklerinin analiz edilmesi sonrasında bir veya birden fazla kategoriye otomatik olarak atanmasını ifade etmektedir. Otomatik web sayfası sınıflandırması için karar destek sistemi olarak hizmet veren veya başka süreçler ile entegre çalışabilecek birçok uygulama bulunmaktadır. Bir web sayfasının bir sorguyla ilgili bilgileri içerip içermediğine dair istihbarat sağlamak ile ilgili entegre sanal tarayıcı tasarımları, bir web sitesine ait özniteliklerin çıkarılması için önerilmiş yaklaşımlar, reklam gibi belirli türdeki içeriklerden kaçınmak için web sitesi filtreleri, ebeveyn kontrol sistemleri, yinelenen URL'leri tespit etmek ve kanonikleştirmek, web dizinleri oluşturmak, sürdürmek veya genişletme çalışmaları ile belirli konudaki web sayfalarını bulmak üzere oluşturulmuş tarayıcı tasarımlar gibi olabilmektedir (Imma ve ark., 2016).

Literatürde web sayfalarını sınıflandırmak için çeşitli yöntemler önerilmiştir. Bu yöntemler, terime dayalı araçlar (Jasper ve ark., 2019; Floria ve ark., 2002), yapı temelli araçlar (Gideon ve ark., 2021), görsel temelli araçlar (Daniel ve ark., 2019; Ali ve ark., 2011), bağlantı tabanlı araçlar (Jia ve ark., 2016) ve URL tabanlı araçlar (Rajalakshmi ve ark., 2017; Hidayet ve ark., 2007; Rajalakshmi ve ark., 2020; Özgür ve ark., 2019)'dır. Terime dayalı, yapı temelli ve görsel temelli yaklaşımlar web sayfalarının içeriğine bağlı özelliklere dayanmaktadır. Bu yöntemlerin çalıştırılabilmesi için web sayfalarının tamamen indirilmesi ve işlenmesi gerekmektedir. Dünya üzerinde milyonlarca web sayfasının bulunması, her bir analiz için bunların tümünün sunucuya kaydedilmesi ve ilgili sayfaların her bir analizde filtrelenmesinin gerekmesi ve tüm bu işlemler için büyük bir bant genişliğine ihtiyaç duyulması, bu yöntemlerin web sayfalarını sınıflandırmak için daha az ilgi çekici olmasına neden olmaktadır. Bağlantı tabanlı araçlar, bir web sitesinin kendi sayfaları arasındaki bağlantıları analiz edilerek belirli bir grafik üretilip web sayfasının sınıflandırılması yaklaşımını kullanmaktadır. Öğrenme aşamasında web sitesinde kapsamlı bir tarama gerçekleştirilmektedir. Bu durum, bağlantı tabanlı araçları gerçek dünyada web sayfalarının analizinde daha yaygın olarak kullanılan bir yöntem haline getirmektedir. Birçok çalışmada URL tabanlı sistem geliştirmeye yönelik araştırmalar

yapılmaktadır. URL, tüm çevrimiçi etkinliklerin altyapısıdır ve kötü amaçlı URL'leri tespit etmek genellikle kötü amaçlı olanların iyicil olanlardan ayırmaya yönelik bir sınıflandırma problemidir (Tie ve ark., 2020). Sürekli veri toplama, özellik çıkarma, veri ön işleme ve sınıflandırma gibi çok daha karmaşık sistematik görevleri içermektedir.

Çoğu ticari anti virüs yazılımı veya açık kaynaklı çözüm (Netcraft, 2018; Navisite, 2021), kötü amaçlı veya kimlik avı web sitelerini tespit etmek için geniş URL veri tabanlarını veya kara listelerini kullanmaktadır (Chia-Mei ve ark., 2015). Kara liste, kötü niyetli web sayfalarıyla başa çıkmak için kullanılan basit ve belirli seviyede doğruluk sağlayan tipik bir yaklaşımdır. Bu teknik yalnızca listeler zamanında güncellendiğinde ve kötü amaçlı web sayfalarını bulmak için web siteleri yoğun bir şekilde ziyaret edildiğinde etkilidir. Bu yöntem çevrimiçi kullanıcıların zamanında korunmasını sağlamak için yetersiz kalmaktadır (Momammad ve ark., 2016). Bunun yanında içerisinde ip adresleri ve URL bilgileri barındıran kara listeler, pahalı ve karmaşık filtreleme teknolojileri yardımıyla çıkarıldığından, şirketler tarafından güncellenmiş halleri ücretsiz olarak satılmazlar. Dahası, web sayfalarına uygulanan adresleri gizleme veya URL ve ip adresi değiştirme gibi teknikler kötü amaçlı adreslerin kara liste ile kontrol edilmeleri olasılığını düşürmektedir. Ayrıca, güvenilir web sayfaları hem kötü amaçlı hem de yasal web sayfalarını içeren ve sahte URL olarak bilinen gizli URL kullanabilmektedirler. Kötü amaçlı URL tespit araçlarının, gerçek zamanlı olarak çalışabilmeleri, yüksek doğrulukla tespit yapabilmeleri ve kimlik avı gibi özel tipteki saldırı türlerine karşı da etkili olmaları beklenmektedir (Momammad ve ark., 2016).

Bilgisayar sistemlerindeki muazzam miktardaki veri, büyük organize veri kümeleri ve güçlü paralel hesaplama makineleri, gerçek dünya sistemlerindeki makine öğreniminin hızlı bir şekilde benimsenmesine neden olmuştur (Wei ve ark., 2020)). Makine öğrenimi, verilerden model oluşturmaya veya satranç, dama, go gibi oyunlarda olduğu gibi sorunu yöneten bir dizi kuralı kullanmaya olanak tanımaktadır. Modern makine öğrenimi yöntemleri, özellikle elimizde çok fazla veri olduğunda, neredeyse gerçek dünyadaki tüm probleme belirli oranlarda çözüm üretebilmektedir (Arslan ve ark., 2019; Yurttakal ve ark., 2020; Arslan ve ark., 2019). Günümüzde insanlar tarafından okunması ve anlaşılması imkânsız olan büyük verileri analiz etmek büyük bir problemdir. Aynı durum modern suç yöntemleri için de geçerlidir. Hesaplama tekniklerindeki hızlı gelişim, siber saldırıların benzeri görülmemiş ölçekte büyümesine ve yürütülmesine izin vermiştir. Makine öğrenimi teknikleri, kötü amaçlı web sitelerini URL adreslerinden, web içeriğinden veya ağ etkinliğinden çıkarılan özellikler kullanarak sınıflandırma için kullanılmaktadır. Web içeriğinin analizini benimseyen araçlar, daha fazla hesaplama süresi ve kaynağa ihtiyaç duymaktadırlar. Bu nedenle kötü amaçlı web sitesi tespitinde URL tabanlı teknikler tercih edilmektedir. Spam, reklam yazılımı, kimlik avı gibi farklı tür saldırılar için URL'lerin özellikleri farklılık gösterebilmektedir (Momammad ve ark., 2016). Bir web sayfasının sadece URL adresinden elde edilen özelliklere göre sınıflandırılması, web sayfasının tümüyle indirilmeden analiz edilebilmesine imkân tanıdığı için caziptir ve bu performans üzerinde olumlu etkiye sahiptir.

Bu çalışmada, web sayfalarını indirmek zorunda kalmadan sınıflandırmaya izin veren bir yaklaşım önerilmektedir. Önerilen yaklaşımda sınıflandırma modelini oluşturmak için web sayfasında kapsamlı bir tarama yapılması gerekmektedir. Sadece web sayfalarına ait URL adreslerinden çıkarılan özellikler

kullanılmaktadır. Makine öğrenimi tekniklerini kullanarak kötücül URL'lerin tespiti ve sınıflandırması yapılmıştır. Spam URL'leri, kimlik avı URL'leri, kötü amaçlı yazılım dağıtan web sitelerine ait URL'ler ve tahrif edilmiş URL'ler olmak üzere 4 tür kötücül URL kullanımına bakılmıştır. Herhangi bir sözlük veya kullanıcı girdisine ihtiyaç duyulmamaktadır. Ayrıca önerilen yaklaşım site, dil ve etki alanından bağımsızdır. Bu sebeple hem ölçeklenebilir hem de genel olarak uygulanabilir bir yaklaşımdır. Önerilen model, ISCX-URL2016 veriseti kullanılarak doğrulanmıştır.

Bu çalışmanın URL adreslerinin sınıflandırmasına yönelik olarak katkıları şunlardır:

- Ağ trafiğindeki URL'ler üzerinde metin bazlı segmentasyon ve vektörleştirme yapılmıştır. Web sitelerini, sadece URL adreslerinden sınıflandırmak için Makine öğrenme tekniklerini kullanan yeni bir yaklaşım önerilmiştir.
- Özellik vektörlerini oluşturmak için Doc2Vec ağına göre DM ve DBOW algoritmaları kullanılmıştır.
- Kötü amaçlı URL'lerin tespiti için etkili olan faktörleri değerlendirmek için çok gruplu deneyler gerçekleştirilmiştir.
- Doc2Vec modelleri ile üretilen özellik vektörlerinin başarılı sonuçlar ürettiği doğrulanmıştır.

Bu makalenin geri kalanı şu şekilde düzenlenmiştir:

2. bölümde URL sınıflandırmasında kara liste kullanan, web sitesinin içeriğinin analizine dayalı ve URL adresini kullanarak sınıflandırmaya ilişkin güncel çalışmalardan detaylı olarak bahsedilmiştir. Sonrasında bu çalışmada önerilen modelin metodolojisi; URL ön işlem süreçleri, model tasarımı ve Doc2Vec yapısını içerecek şekilde 3. bölümde verilmiştir. 4. bölümde önerilen modelin test ortamına ilişkin parametreler ve test sonuçları DM, DBOW ve bu iki modelden elde edilen vektörlerin birleştirilerek kullanıldığı hibrit model için ayrı ayrı gösterilmiştir. Çalışmanın tasarımında karşılaşılan kısıtlar ve modelin avantajlı noktaları 5. bölümde anlatılmıştır. Son bölümde, çalışmanın genel bir değerlendirmesi yapıldıktan sonra, model tasarımında karşılaşılan kısıtlar göz önünde bulundurularak gelecekte yapılabilecek çalışmalara ilişkin öneriler açıklanmıştır.

## 2. Konu ile İlgili Çalışmalar

Kötü amaçlı URL'leri tespit etmek için birçok yaklaşım geliştirilmiştir. Bu yöntemler, kara liste, içerik tabanlı sınıflandırma, URL tabanlı sınıflandırma yaklaşımı olmak üzere 3 farklı türe ayrılabilir.

### 2.1. Kara Listeler

Kara listeler, genel URL'leri filtrelemek için bilinen kötü amaçlı URL kayıtlarını kullanan yöntemleri ifade etmektedir. Kara liste hizmetleri, sahte web sitelerini tespit etmek için araç çubuklarında, uygulamalarda ve arama motorlarında kapsüllenebilir ve veri tabanları tarafından tutulan manuel raporlama veri tabanlarından alınan URL'lerden oluşan kara listelerden yararlanırlar. Trendmicro Internet Security (Trendmicro, 2021), Norton Safe Web Plugin (Norton, 2021), Google Safe Browsing (Google, 2020), Microsoft Smart Screen (Microsoft, 2021) gibi servislerden bu hizmetler alınabilmektedir. Her ne kadar bu listeler sık sık güncelleniyor olsa da bir takım kötücül siteleri gözden kaçırmalar (Goutam ve ark., 2017).

### 2.2. İçeriğe Dayalı Sınıflandırma

Jim ve ark. tarafından Javascript bağlantılı saldırıları önlemek için tarayıcı tarafında gömülü politikalar isimli bir mekanizma önerilmiştir. Her bir web sayfası için bir güvenlik politikası tanımlanmıştır. Bu nedenle tarayıcı, komut dosyasını belirtilen politikaya göre ziyaret edilen web sayfasında yürütür. Mekanizma tüm web siteleri için uygulanabilir yapıda olup, politikanın iyi belirlenmiş olması durumunda iyi sonuç vermektedir (Trevor ve ark., 2007).

Xiang ve ark. CANTINA'yı (Yue ve ark., 2007) genişleterek CANTINA+'ı (Guang ve ark., 2011) önerdi. CANTINA, metin tabanlı bir kimlik avı algılama tekniği olup, belge içindeki kullanım frekanslarına göre anahtar kelimeleri çıkarmaktadır. Daha sonra anahtar kelimeler Google arama motorunda aranmaktadır. Web sitesi arama sonuçlarına dahil edilmişse iyicil olarak sınıflandırılmıştır. Çalışmanın sadece İngilizce diline duyarlı olması başarısını sınırlanmaktadır. CANTINA+'da ise 15 adet html tabanlı özellik kullanılmıştır. Sistem %92 doğruluk ile sınıflandırma başarısına ulaşmıştır ancak FP oranı oldukça yüksektir.

URL ve HTML özelliklerini kullanarak kimlik avına ilişkin olarak hazırlanmış web sayfalarını tespit etmek için bir model önerilmiştir (Yukun ve ark., 2019). GradientBoosting, XGBoost ve LightGBM sınıflandırıcıları, çok katmanlı olarak birleştirilmiş ve kimlik avı web sayfalarını algılamada daha yüksek performansa sahip bir yığın modeli tasarlanmıştır. 49497 ve 53103 web sayfasından oluşan iki veri seti ile yapılan çalışmada %97.30 ile doğru sınıflandırma yapılırken, yanlış pozitif değeri %4.46'da kalmıştır.

### 2.3. Url Tabanlı Sınıflandırma

URL içindeki simgeleri ve tüm n-gramları (n=4 ten 8) dikkate alarak çeşitli özellikler çıkarıp, URL sınıflandırılmasının ayrıntılı bir analizinin gerçekleştirildiği çalışmada (Baykan ve ark., 2011), herhangi bir özellik seçme yöntemi uygulamadan n-gram özelliklerinin önemli ve yeterli olduğu gösterilmiştir. Eğitim boyutunda büyümenin n-gram üretmede sorun oluşturması sebebiyle büyük ölçekli verileri için uygun olmadığı belirtilmiştir.

Rajalakshmi ve ark. tarafından gerçekleştirilen çalışmada (Rajalakshmi ve ark., 2018), URL özelliklerinin otomatik öğrenilmesine yönelik bir yaklaşım önerilmiştir. Bu yaklaşımda, sadece 4-gram ile özellik çıkarmak yerine, web sayfasının kategorilerini belirlemek için n=3,4,5,6,7,8 gibi tüm n-gramları çıkarılarak her bir token için özellikler üretilmiştir. Veri setinden bağımsız olarak çalışmakta olup, sınıflandırma için Naive Bayes kullanılmıştır.

Zouina ve ark. (Zouina ve ark., 2017) tarafından tamamen URL'ye dayalı olarak kimlik avı saldırılarının algılanmasına yönelik bir yaklaşım önerilmiştir. 1000 kötücül ve 1000 iyicil URL'den oluşan bir veri seti ile çalışılmış olup SVM ile sınıflandırma yapılmıştır. URL boyutu, kısa çizgi sayısı, nokta sayısı, sayısal karakter sayısı ve benzerlik indeksi olmak üzere 6 özellik çıkarılarak kullanılmıştır. Sistem %95.80 tanıma oranı ile çalışmaktadır.

Görsel olarak yakında olan iki öğenin muhtemelen aynı sınıfa ait olduğu ve benzer şekilde benzer URL'lerinde muhtemelen hedef olarak benzer sayfalara sahip olduğu fikrine dayalı olarak önerilen çalışmada (Lawrence ve ark., 2004), denetimsiz bir sınıflandırma modeli önerilmiştir. Model, URL adreslerinin "?",

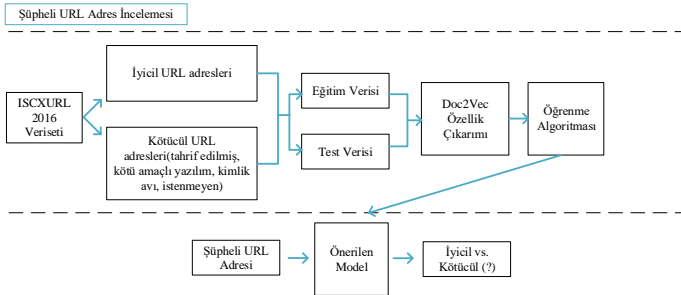
“&” ve “?” karakterlerine göre ayırtılmakta ve elde edilen her bir tokenı ağaç yapısına yerleştirmektedir. “http” adresi kök olursa, devamındaki tokenlar alt düğümlere eklenir. Ağaçtaki her bir yaprak eğitilmiş bir URL kümesine sahip sınıfı temsil eder ve her bir yeni URL için tüm yapraklara göre olasılıklar hesaplanır. Her bir şüpheli URL en yüksek olasılığa sahip düğüme dahil edilir.

URL adresine ilişkin olarak adres uzunluğu, adres içerisindeki çizgi sayısı, URL ve alt alan adlarındaki noktaların sayısı ve konumu gibi URL tabanlı özelliklerin kullanıldığı ve taşıma katmanı güvenliğine ilişkin olarak yapılan çalışmada (Carolin ve ark., 2016), apriori algoritması kullanılarak kurallar oluşturulmuştur. Deneysel sonuçlarda, kimlik avı URL’lerini %93 oranı ile sınıflandırabildiği gösterilmiştir.

Sungjin Kim ve ark. tarafından yapılan çalışmada (Sungjin ve ark., 2018), URL tabanlı olarak kötü niyetli URL’lere ait davranış izlerini çıkararak sınıflandırma yapılan model önerilmiştir. 1529433 kötü amaçlı URL içeren bir veri seti ile çalışılmıştır. Saldırganların URL’lerle ilgili taktik davranışlarını analiz etmekte ve ortak özelliklerini çıkarmaktadır. Buna göre 3 seviyeli bir güvenlik ihlali düzeyi belirlenmektedir. Önerilen yaklaşım ile %70 ve üzerinde bir doğrulukla sınıflandırma yapılabilmektedir. URL’in kötü niyetli olup olmadığını tahmin etmek için bir tür web filtresi ve risk bazlı ölçekleyici tasarlanmıştır.

### 3. Metodoloji

Bu çalışmada web sayfalarının URL adresleri analiz edilerek isteklerin kötü niyetli olup olmadığı tespit edilmektedir. Bu tespiti yapabilmek için Şekil-1’de gösterilen akış şemasına göre süreç yürütülmektedir.



Şekil 1. Şüpheli URL Adreslerinin Analizi Yaklaşımı

Şüpheli URL adreslerinin analiz edilerek kötü niyetli veya iyici olup olmadıklarını tespit etmek amacıyla önerilmiş model incelendiğinde ilk aşamada model eğitiminde kullanılmak üzere bir veri setine ihtiyaç duyulmaktadır. Önerilen modelin başarısındaki objektifliği sağlayabilmek ve benzer çalışmalar ile karşılaştırabilmek için 2016 yılında yayınlanmış ve bugüne kadar birçok URL filtreleme çalışmasında kullanılmış ISCX2016URL veri seti kullanılmıştır. Veri seti incelendiğinde içerisinde hem iyici hem de Spam URL’leri, kimlik avı URL’leri, kötü amaçlı yazılım dağıtan web sitelerine ait URL’ler ve tahrif edilmiş URL’ler bulunmaktadır. Birinci gruptaki testler için sadece iyici ve kötü niyetli ayrımı yapıldığı için 4 farklı kötü niyetli türündeki veriler tek bir grup altında toplanmıştır. İkinci test grubunda ise sadece 4 farklı kötü niyetli grup için çok sınıflı bir test gerçekleştirilmiştir.

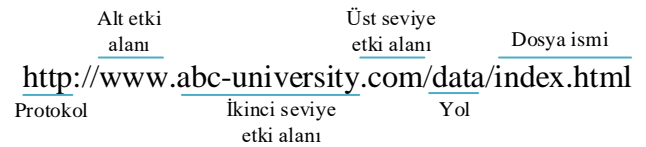
Veri setinin toplanması ve bir takım ön işlem süreçlerinden geçirilmesinden sonra, elde edilen iki sınıfa ait veri seti eğitim ve test aşamalarında kullanılmak üzere rastgele olarak %70-%30 olacak şekilde ayrılmıştır. Bu ayrım sonrasında bu çalışmada önerilen modelin en özgün yanı olan URL adreslerinin

özelliklerinin çıkarılması için Doc2Vec modelinden yararlanılmıştır. Hem DM hem de DBOW modeli ile eğitim gerçekleştirilmiştir. Eğitim aşamasında kullanılacak tokenları elde etmek için URL adresleri “/” karakterine göre ayırtılmıştır. Tokenların eğitimi sonrasında sınıflandırma algoritmalarında kullanılmak üzere URL adreslerini temsil eden vektörler elde edilmiştir. Böylece oldukça pratik ve hızlı bir şekilde URL adreslerinin özellikleri çıkarılmıştır.

Elde edilen özellik vektörleri farklı makine öğrenmesi algoritmaları için giriş değeri olarak değerlendirilmiştir. Sonuçta ortaya sadece URL adreslerinden çıkarılan özellikleri kullanan bir model ortaya çıkmıştır. Modelin eğitim süreci tamamlandıktan sonra, kötü niyetli ve iyici kategorideki URL adresleri test edilmekte ve sonuçta ikili bir sınıflandırma yapılmaktadır. Sınıflandırma modeli çoklu sınıfta çalışacak şekilde güncellendikten sonra aynı metodoloji kullanılarak kötü niyetli gruptaki URL adreslerinin de kendi arasında sınıflandırılması ikinci grup testlerde gerçekleştirilmiştir.

### 3.1. URL Ön işlem

URL, bir kaynağı ve erişim protokolünü tanımlayan bir karakter dizisidir. URL sözdizimi IETF tarafından RFC 3986 de tanımlanmıştır. Bu tanıma göre, bir URL farklı segment türlerinden oluşmakta olup Şekil-2’de gösterilmiştir. İlk olarak bir protokol (ör. html, ftp) sonrasında bir otorite veya alan adı (ör. https://dergipark.org.tr) daha sonra eğik çizgi karakterleriyle ayrılmış bir dizi web adres yolu (ör. /tr/pub) ve son olarak iki isteğe bağlı bölüm olarak bir soru işareti ile devamında bir sorgu dizisi veya # işareti bulunur. Sorgu dizisi, web sunucusuna gönderilen parametrelerin adları ve değerleri hakkında bilgi sağlayan bir yapıdır (ör. ? arastirmaciid=303076&alan=fen). Her bir segment bir sayfayı işaret ederken, her bir parametre o sayfaya ait özellikleri tanımlar. Bir URL adresi “/, ?, #, &, = ve :” gibi ayrıncılara sahip olup, istenilen sayıda karakter barındıran bir dizidir (Imma ve ark., 2016).



Şekil 2. URL Bölümleri

Bu çalışmada sadece http trafiğindeki URL’lerle ilgilenildi. Bir uygulama, kötü amaçlı bir URL’i ziyaret ettiğinde, enfekte olabilir. Bunun yanında, çoğu kötü amaçlı yazılım, kötü amaçlı davranışlarını uygulamak için komut almaları gerektiğinde, URL’de bulunan parametreleri kullanır. Bu nedenle URL’lere dayalı kötü niyetli yazılım araçları etkilidir (Shanshan ve ark., 2020).

### 3.1. URL Vektör Temsili

Kelimelerin veya kelime gruplarının vektörlere dönüşümleri, günümüzde birçok doğal dil algoritmasında kullanılan bir yaklaşımdır. İlk girişimler, kelimeleri yüksek boyutlu vektörler olarak temsil ederek, kelimelerin anlam ve sonlarına göre kümeleyerek bu sorunu çözmeye çalışmıştır (Petros ve ark., 2018). Son yıllarda sinir ağlarının dil modellemesinde kullanılması kelimelerden üretilen bu vektörlerin kullanılması fikri önerilmiştir. Kelimelerin bu şekilde temsil edilmesine yönelik yaklaşım Word to Vector (word2vec) olarak bilinmektedir. Elde edilen böyle bir vektör sayesinde boyut



indirilmesi, kümeleme, sınıflandırma, benzerlik arama gibi farklı veri manipülasyon yaklaşımları kullanılabilir. Metinler ile çalışmayı kolaylaştırmaktadır (Petros ve ark., 2018).

Kelimelerin bu kadar yoğun bir şekilde temsil edilebilmeleri sağlamak için Continuous Bag of Words (CBOW) (Tomas ve ark. 2013)) ve Skip-Gram (Tomas ve ark., 2013) modelleri önerilmiştir. Bir kelime dizisinin  $[w_1, w_2, w_3, \dots, w_n]$  olarak temsil edildiği varsayıldığında, CBOW modeli ilk olarak her bir kelime vektörünü rastgele olarak başlatır ve ardından sonucu tahmin edilen kelimenin vektörü olan tek katmanlı sinir ağı kullanarak orijinal tahminler ile modeli optimize eder. Bunun yanında Skip-gram modelinde ise, tam tersi olarak bağlam kelimelerini tahmin etmek için "w" kelimesini kullanır. Tahmin görevi aşağıda gösterilmiş olan eşitliğe göre ayrıştırılabilir. Word2vec modelinin amacı ortalama log olasılığını maksimize etmektir (Tomas ve ark., 2013).

$$\frac{1}{T} \sum_{t=1}^{T-1} \log p(w_t | w_{t-1}, \dots, w_{t+1}) \quad (1)$$

$w_t$  kelimesi Softmax gibi bir çoklu sınıflama aracı kullanılarak kolayca tahmin edilebilir.

$$p(w_t | w_{t-1}, \dots, w_{t+1}) = \frac{e^{y_{w_t}}}{\sum_i e^{y_{w_i}}} \quad (2)$$

$y_{w_t}$  terimlerinin her biri, her bir çıkış  $w_i$  sözcüğü için normalize edilmemiş log olasılığını gösterir ve şu şekilde hesaplanır.

$$y = b + Uh(w_{t-1}, \dots, w_{t+1}; W) \quad (3)$$

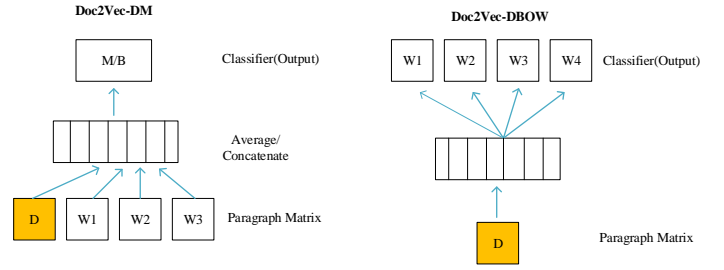
b, gizli ve çıkış katmanları arasındaki bias değerini, U, gizli ve çıkış katmanları arasındaki ağırlık matrisini, h bağlam sözcükleri için birleşim veya ortalama değerini ve W ise sözcük temsil matrisini ifade eder.

Word2vec modelinin sonrasında paragraph2vec ve son olarak doc2vec modelleri ortaya atılmıştır. Doc2vec kelime vektör modeli üzerine geliştirilmiştir. Kelimelerin ve kelime sırasının dikkate alınmaması ve aynı temsile sahip farklı cümlelerin ortaya çıkması ile sonuçlanmaktadır. Doc2vec'te, D, eğitim veri setindeki tüm belgeler için bir vektörü temsil eder. Her belge D matrisindeki bir sütunla temsil edilen benzersiz bir vektör ile eşlenir ve her bir kelime W matrisindeki bir sütunla temsil edilen benzersiz bir vektörü ifade eder. Bu nedenle ağ formülasyonunda D eklenerek Word2Vec, Doc2Vec haline dönüştürülür.

$$y = b + Uh(w_{t-1}, \dots, w_{t+1}; W, D) \quad (4)$$

Doc2Vec paragraf vektör olarak ifade edilen her bir belgenin temsili 2 farklı algoritma kullanarak yapar. Dağıtılmış bellek (DM) ve DBOW. DM, CBOW'un bir uzantısıdır ve bu modeldeki tek değişiklik, yeni bir belge ID'si eklemektir. Şekil 3'te turuncu renk ile gösterilmiştir. DBOW ise Skip-gram'ın bir uzantısıdır ve mevcut sözcük, geçerli belge ID'si ile değiştirilir. Şekil 3'te DM ve DBOW yapıları gösterilmiştir.

Ağ yeterince eğitildikten sonra, her bir belgenin temsili sağlanmış olur. Bu da daha sonra kümeleme veya sınıflandırma gibi metin madenciliği görevlerinde kullanılabilir. Bu çalışmada kelime kümesi, iyicil veya kötücül web adreslerinin "/" karakterine göre ayrılması her bir bölümünde oluşmaktadır.



Şekil 3. Doc2Vec DM ve DBOW Model Yapısı

## 4. Deneysel Testler ve Sonuçlar

Bu bölümde önerilen modelin sınıflandırma algoritmalarına ilişkin deneysel ayrıntıları verilmiştir. DM ve DBOW modeli ile özellik çıkarma yapısı, veri seti ayrıntısı ve özellikleri kullanan algoritmaların sonuçları karşılaştırmaları olarak gösterilmiştir.

### 4.1. Deneysel Ortam

DM ve DBOW modelleri için kullanılan hiper-parametreler Tablo-1'de gösterilmiştir. İki model arasındaki parametreler incelendiğinde en temel fark dm değerinin DBOW modelinde 0 olarak belirlenmesidir. Diğer parametreler probleme bağlı olarak değişkenlik gösterebilmektedir. Bu çalışmada tabloda gösterildiği gibi belirlenmiştir.

Tablo 1. DM ve DBOW Modelleri için Belirlenen Hiper Parametreler

DM		DBOW	
Parametre	Değer	Parametre	Değer
Size	180	Dm	0
Window	10	Vector_size	300
Min_count	2	Negative	5
Sample	0	hs	0
Negative	5	Min_count	0
Workers	All cores	Sample	0
Dm	1	alpha	0.065
Dm_mean	1	Min_alpha	0
alpha	0.065	Workers	All cores
Min_alpha	0.0	Window	10
hs	0		

Elde edilen URL listelerinde ön işlem aşamalarını yürütebilmek için BeautifulSoup, lxml, tqdm, nltk gibi üçüncü parti Python kütüphanesi kullanılmıştır. Deneysel 2.0 Ghz Intel Core i7 işlemciye ve 8GB 1867 Mhz DDR3 RAM'e sahip bir Windows dizüstü bilgisayar üzerinde gerçekleştirilmiştir. Önerilen modelin test edilebilmesi için Python programlama dilinde Gensim Kütüphanesi kullanılarak yazılım geliştirilmiştir. DBOW ve DM modelleri kullanılarak eğitim ve test aşamaları gerçekleştirilmiştir.

Her bir test seti farklı makine öğrenme algoritması ile koşulmuştur. Karışıklık matrisindeki değerler kullanılarak, algoritmanın başarısı ve verimliliğini ölçmek için kesinlik, duyarlılık, f-ölçütü ve doğruluk olmak üzere 4 farklı metriğe göre hesaplama yapılmıştır.

### 4.2. Veri Seti

Bu çalışmada önerilen modelin test edilebilmesi için ISCX-URL2016 veri seti kullanılmıştır (Momammad ve ark., 2016). Bu

veri setinde toplanmış olan URL'ler toplam 5 farklı sınıfa ayrılmıştır. Her bir gruba ait URL sayısı ve elde edilme metodları Tablo-2'de gösterilmiştir.

Tablo 2. ISXCURL2016 Verisetinde URL Tipine Göre Örnek Sayısı Dağılımı

URL Tipi	Elde Edilme Yöntemi	URL Sayısı
İyicil URL	İyicil URL içeren web sitesi adresleri Alexa'nın en iyi web sitelerinden seçilmiştir. Domainlere ait web URL'lerinin çıkarılmasında Heritrix web crawler'ı kullanılmıştır. Taranan her bir URL içerisinden iyicil olanları filtrelemek için Virüstopal sitesi kullanılmıştır.	35380
Spam URL	WEBSpam-UK2007 verisetinden alınmıştır.	12001
Kimlik avı URL	OpenPhish aktif kimlik avı sitesi deposundan alınmıştır.	9967
Kötü amaçlı yazılım dağıtan URL	Kötü amaçlı yazılım siteleri listesini tutan DNS-BH üzerinden alınmıştır.	11567
Tahrif edilmiş URL	Sahte veya gizli URL barındırıp kötü amaçlı sınıfta yer alan URL'ler Alexa tarafından sıralanan güvenilir sitelerden alınmıştır.	96457

Tablo 2'de görüleceği üzere veri seti farklı kaynaklardan alınan, farklı tür ve sayıda toplam 165372 adet URL adresi barındırmaktadır. Her ne kadar homojen bir dağılım olmasa da sınıflandırma algoritmalarında kullanmak için uygundur. Aşağıda örnek birkaç URL adresi gösterilmiştir.

<http://www.sind3usc3ongoias.com.cr/index.html>

<http://www.tehobsledovanie.ru/zakazat>

<https://www.blogs.miis.edu/trade/2011/01/27/top-10-consulting-firms/>

<https://www.blogs.scripps.com/albq/staley/>

Bu çalışmada URL tipleri öncelikle iyicil ve kötü amaçlı (spam, phishing, malware, defacement) olarak ikili bir değerlendirmeye tabi tutulmuştur. Bunun için tüm URL'ler tek bir dosyada birleştirilip sınıf adı tanımlanmıştır. Çalışmanın ikinci aşamasında ise, kötü amaçlı URL tiplerini kendi arasında sınıflandırmaya yönelik olarak çoklu sınıf barındıran bir model tasarlanmıştır.

### 4.3. Göstergelerin Değerlendirilmesi

Literatürde çeşitli değerlendirme göstergeleri bulunmak ile birlikte en yaygın olanları kesinlik, duyarlılık, F-skoru ve doğruluk hesaplama formülleri Eş-5 - 8'te gösterilmiştir.

$$Kesinlik = \frac{TP}{TP + FP} \quad (5)$$

$$Duyarlılık = \frac{TP}{TP + FN} \quad (6)$$

$$F \text{ skoru} = 2 \times \frac{Kesinlik \times Duyarlılık}{Kesinlik + Duyarlılık} \quad (7)$$

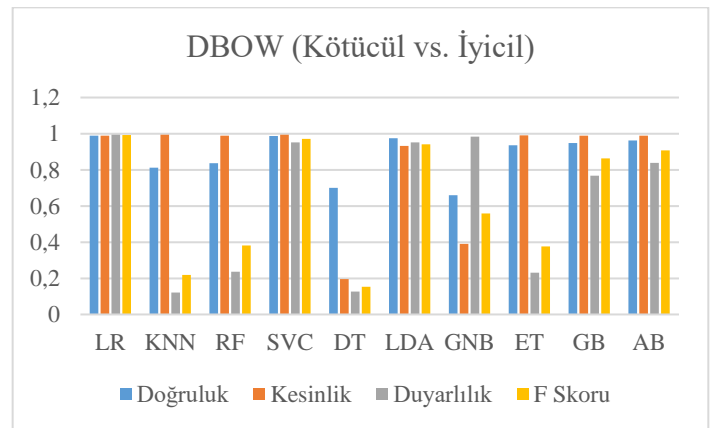
$$Doğruluk = \frac{TP + TN}{TP + TN + FN + FP} \quad (8)$$

Eşitliklere göre, Gerçek Pozitif (TP) iyicil web sayfalarının doğru bir şekilde sınıflandırıldığı sayısı, Yanlış Pozitif (FP) kötü amaçlı web sayfalarının iyicil olarak sınıflandırılma sayısını, Gerçek Negatif (TN), kötü amaçlı web sayfalarının kötü amaçlı olarak sınıflandırıldığı sayısını ve Yanlış Negatif (FN) ise iyicil web sayfalarının kötü amaçlı olarak sınıflandırıldığı sayısını göstermektedir. Kesinlik metriği, kötü amaçlı olarak sınıflandırılan bir URL adresinin gerçekten % kaçının kötü amaçlı bir adres olduğunu göstermektedir. Yanlış pozitifin maliyetinin yüksek olduğu problemler için önemli bir ölçüm değeridir. Duyarlılık, sadece kötü amaçlı adreslerle ilgili bir değerdir. Kötü amaçlı olan URL adreslerinin kaç tanesinin tespit edildiğini gösterir. Yanlış negatifin maliyetinin yüksek olduğu problemler için önemli bir ölçüm değerini ifade eder. F score ise kesinlik ve duyarlılık değerlerinin harmonik ortalamasıdır. Doğruluk değeri ise en temel performans ölçüm metriği olup, doğru olarak tahmin ettiğimiz URL adreslerinin toplam URL adresi sayısına oranını ifade etmektedir. Tek başına yeterli bir ölçüm olmayıp model hakkında genel bir fikir vermektedir.

### 4.4. İkili Sınıflandırma (İyicil ve Kötü amaçlı)

Bu çalışmanın ilk aşamasında önerilen modelin performans değerlendirmesi bir URL adresinin iyicil mi kötü amaçlı mı olduğuna ilişkindir. Bu testler için kullanılan veri tabanındaki kötü amaçlı uygulamalar tek bir sınıf altına toplanarak ikili bir sınıflandırmaya tabi tutulmuştur. Sınıflandırma için ihtiyaç duyulan özellik vektörleri Doc2Vec algoritmasına göre çalışan DBOW ve DM modelleri kullanılarak ayrı ayrı elde edilmiştir. Sonrasında da bu iki model birleştirilerek hibrit bir yapı da testler tekrarlanmıştır.

Sınıflandırma için lojistik regresyon (LR), K-en yakın komşu (KNN), rassal orman (RF), destek vektör makinesi (SVC), karar ağacı (DT), lineer discriminant analizi (LDA), gaussian naïve bayes (GNB), ekstra ağaç (ET), gradyan artırma (GB) ve adaboost (AB) algoritmaları kullanılmıştır. 10 farklı makine öğrenmesi tekniği ile gerçekleştirilen ve özelliklerin DBOW modeli ile çıkarıldığı model için testlerde elde edilen sonuçlar Şekil-4'te grafik olarak gösterilmiştir.

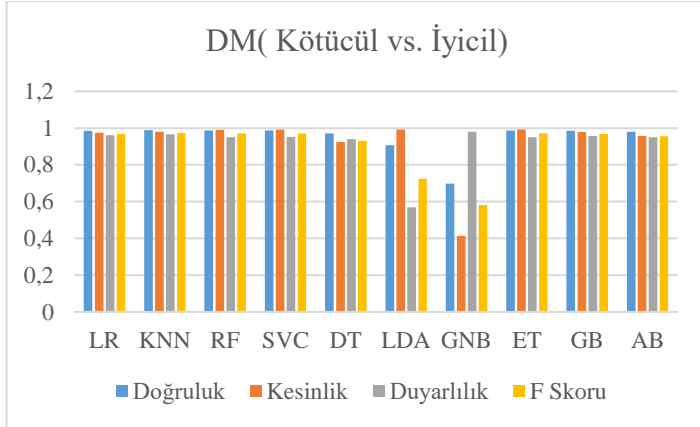


Şekil 4. DBOW Modeli Kullanılarak Elde Edilen Sonuçlar

Grafik incelendiğinde, en yüksek doğruluk değeri Logistic Regresyon ile elde edildi ve %99.2 oranı ile sınıflandırma yapılmıştır. Bunun yanında kesinlik, duyarlılık ve f skoru değerleri de sırasıyla %98.9, %99.1 ve %99.2 olarak elde edilmiştir. Böylece elde edilen doğruluk değerinin başarıyı kanıtlanmıştır. DBOW modeli kullanılarak elde edilen özellik vektörü ile yapılan sınıflandırma da sadece URL adresi kullanarak

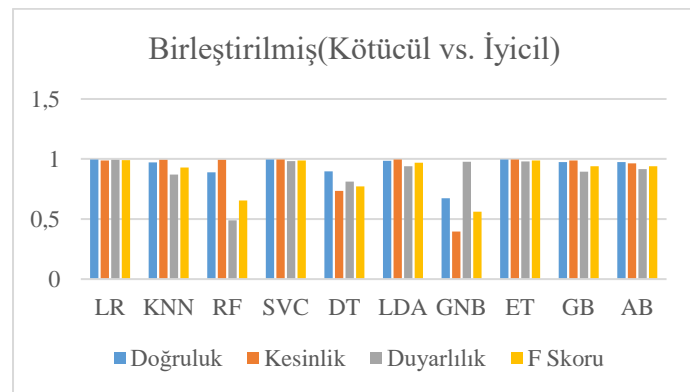
elde edilen özellikler ile oldukça yüksek bir başarı değeri yakalanabilmiştir.

Benzer şekilde Doc2Vec yapısındaki bir diğer model olan DM ile çıkarılan özellikler kullanılarak yapılan sınıflandırmada en yüksek başarı oranı RF, KNN, Extra Tree ve SVC ile elde edilmiş olup sırasıyla %98.8, %98.9, %98.8 ve %98.8 doğru değerleri elde edilmiştir. Her bir sınıflandırıcı için elde edilen sonuçlar Şekil-5'te verilmiştir. Başarı oranının genel olarak tüm sınıflandırıcılarda yüksek olduğu gösterilmiştir. DBOW modelinde olduğu gibi, sadece URL tabanlı olarak DM modeli ile üretilen özellik vektörlerinin kötüçül ve iyicil sınıflandırmasında başarılı olduğu gösterilmiştir.



Şekil 5. DM Modeli Kullanılarak Elde Edilen Sonuçlar

URL adreslerinin iyicil ve kötüçül olarak sınıflandırmasında gerçekleştirilen son test ise DBOW ve DM modellerinden gelen özellik vektörlerinin birleştirilmiş(concatenate) hali ile yapılmıştır. İki vektörün birleştirilerek kullanıldığı son testte DBOW veya DM modellerinde düşük performans gösteren sınıflandırıcıların performansında bir artış yakalandığı gözlemlenmiştir. Böylece önerilen modelin genel olarak tüm sınıflandırıcılar ile etkin bir sonuç verebilmesi mümkün olmuştur. Hibrit modelin katkısı düşük performans gösteren algoritmaları açısından faydalı olmuştur. Bunun yanında en yüksek performansa sahip algoritmalar açısından da küçükte olsa düşüşe neden olmuştur. Hibrit vektör kullanılarak yapılan testlere ilişkin sonuçlar Şekil-6'da gösterilmiştir.



Şekil 6. Birleştirilmiş Özellik Vektörü Kullanılarak Elde Edilen Sonuçlar

#### 4.5. Çoklu Sınıflandırma

Aynı veri setinde kötüçül URL adresleri Spam, Malware, Phishing ve Defacement olarak ayrılmıştır. Doc2Vec modeli ile

üretilen özellik vektörleri ile kötüçül URL adreslerinin kendi içinde sınıflandırılmalarına ilişkin olarak ikinci bir test yapılmıştır. Doc2Vec yapısının URL adres sınıflandırmasında çoklu sınıfa sahip modeller için başarıları ölçülmeye çalışılmıştır. Buna göre DBOW, DM ve Hibrit modele göre en iyi sonuçların alındığı algoritmaların performans değerleri Tablo-3'te gösterilmiştir.

Tablo 3. DBOW, DM ve Birleştirilmiş Hibrit Model için En İyi Sonuçlar

	Algoritma	Doğruluk	Kesinlik	Duyarlılık	F Skoru
DBOW (Multiclass)	LR	0,878	0,888	0,898	0,877
	SVC	0,841	0,840	0,842	0,841
	LDA	0,841	0,840	0,843	0,840
DM (Multiclass)	LR	0,755	0,754	0,756	0,759
	KNN	0,747	0,748	0,747	0,749
	RF	0,783	0,783	0,784	0,782
	ETREE	0,758	0,754	0,759	0,760
CONCAT (Multiclass)	LR	0,881	0,880	0,882	0,881
	SVC	0,883	0,882	0,881	0,884
	LDA	0,850	0,851	0,852	0,849

Tablo-3'te sonuçlara göre çoklu sınıflandırmada en iyi sınıflandırma sonucu %88,3 olarak elde edilmiştir. Bu sonuç DBOW ve DM modellerinden elde edilen özellik vektörlerinin birleştirilmiş halini kullanan birleştirilmiş hibrit model ile yakalanmıştır. Çoklu sınıflandırmada sonuçlarında ikili sınıflandırmaya göre daha düşük sonuç elde edilmesinin sebebinin 4 kümeye ait örnek sayısındaki ciddi dengesizlik olduğu düşünülmektedir.

#### 4.6. Önerilen Modelin Avantajlı Noktaları

İçeriğe bağlı web site analiz araçlarının çoğunda, sistemin yürütülmesi için dil oldukça önemlidir. Bu çalışmada önerilen model yalnızca URL adreslerini segmentlere ayırarak oluşturulmuş öznitelikleri barındıran vektörler kullanmaktadır. Bu sebeple, sistemin başarıları oluşturulan kelime vektörüne bağlı olup dilden bağımsız bir şekilde çalışmaktadır.

Günümüzde web sitelerini oluşturmak hem kolay hem de ucuz bir iştir. Bu sebeple kötüçül faaliyet göstermek üzere saldırganlar tarafından oluşturulan web sayfaları hızlı bir şekilde aktif olmakta ve kısa sürelerde çalıştırılmaktadırlar. Bu nedenle web sitelerinde kötüçül tespiti yapabilmek için mümkünse gerçek zamanlı çalışan araçlar geliştirilmesi beklenmektedir. Bu çalışmada önerilen sistemde sadece URL adresleri kullanıldığı için oldukça hızlı bir analiz yapılmakta ve web siteleri ihmal edilebilir sürelerde sınıflandırılmaktadır.

Sadece URL adresinden üretilen kelime vektörleri kullanılarak yapılan sınıflandırma sayesinde daha önce etiketlenmemiş ve oldukça tehlikeli saldırı türlerinden biri olan sıfırıncı gün saldırılarına karşıda etkindir. Kara liste/beyaz liste, sıralama sayfaları, ağ trafik ölçüleri, etki alanı algılama gibi literatürde önerilmiş birçok model bulunmaktadır. Bu sistemler saldırı ve tespit sistemlerinin etkinliği artırmakta oldukça önemlidirler. Ancak bunlardan gerçek zamanlı durumlar için yararlı olamazlar.

#### 4.7. Önerilen Modelin Diğer Çalışmalar ile Karşılaştırılması

Bu çalışmada önerilen modelin test edilebilmesi için ISCXURL2016 veriseti kullanılmıştır. 2016 yılından beri açık kaynak olarak paylaşılmasından dolayı bu veri seti kullanılarak URL adreslerinin sınıflandırılmasına yönelik olarak birçok çalışma yapılmış olup, detayları Tablo-4'te gösterilmiştir.

Tablo 4. ISCXURL2016 Veri Seti Kullanılan Yapılan Çalışmalar

Çalışmanın Adı ve Yılı	Kullanılan Özellikler	Sınıflandırma Yöntemi	Performans Sonucu
Uçar and Uçar (Uçar ve ark., 2019)	Verisetinde sunulan ve URL adresine ilişkin 80 özellik kullanılmıştır.	LSTM, CNN(3 Max-pool, 1 Hidden, 1 Dropout) İkili sınıflandırma	Doğruluk: LSTM: 91,13 CNN: 95,37
Kapil et al. (Kapil ve ark., 2019)	Verisetinde sunulan ve URL adresine ilişkin 80 özellik içerisinden 47 adet seçilerek kullanılmıştır.	J48, Random Forest, Bayes-Net, Lazy İkili sınıflandırma	Doğruluk: J48:94.4 RF:96.1 BayesNet:92.1 Lazy: 95.4
Deebanchakkara warthi et.al (Deebanchakka rawarthe ve ark., 2019)-owner of dataset	Verisetinde sunulan ve URL adresine ilişkin 80 özellik kullanılmıştır.	Random Forest	Doğruluk: RF: 97.0
Raju et al. (Raja ve ark., 2020)	Verisetinde sunulan ve URL adresine ilişkin 80 özellik kullanılmıştır.	RF,ExtraTree, Adaboost	Doğruluk: RF:94.1 ExtraTree:94.9 Adaboost: 93.2
Dawn and Tavares (Dawn ve ark., 2019)	Lexical ve Host tabanlı 32 özellik çıkarılmıştır.	ExtraTree, Adaboost	Doğruluk: ExtraTree:91.0 Adaboost: 90.0
Bu çalışmada önerilen model (2021)	Doc2Vec yapısında, DBOW ve DM modelleri ile URL adreslerinin segmentlere ayrılmış hali kullanılarak özellik vektörleri üretilmiştir.	DBOW : (LR,SVC,LDA, AdaBoost) DM: (KNN,RF,SVC,ExtraTree)	Doğruluk (DBOW): LR:98.9 SVC:98.8 LDA:97.5 AdaBoost:96.3 Doğruluk(DM): KNN:98.9 RF: 98.8 SVC: 98.8 ExtraTree:98.8

Tablo4'te ISCX2016 URL veriseti ile kullanılarak yapılan ve URL adreslerinin iyicil veya kötücül olup olmadığına dair yapılan test sonuçları gösterilmiştir. Çalışmalar incelendiğinde iki tanesi haricindekilerin veri seti ile birlikte sunulan sorgu uzunluğu, etki alanı token sayısı, URL adresi token sayısı, ortalama etki alanı token sayısı, en uzun etki alanı token uzunluğu gibi 80 farklı özelliğini sınıflandırma için kullanıldığı anlaşılmaktadır. Bunun ile birlikte bir çalışmada 80 özellik içerisinden özellik seçimi yapılarak daha az sayıda özellik ile testler yapılmış olup, bir çalışmada da bizim çalışmamıza benzer şekilde lexical ve host tabanlı 32 özellik çıkarılarak sınıflandırma yapılmıştır. Sınıflandırma için Random Forest, Extra Tree, Adaboost, LSTM, CNN gibi algoritmalar ve ağ yapıları kullanılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda %90 ile %97 arasında değişen oranlarda doğruluk değerleri yakalanmıştır. Bizim çalışmamıza ise özellik çıkarımı için benzer çalışmalardan tamamen farklı olarak Doc2Vec algoritmasındaki DBOW ve DM modelleri kullanılmıştır. Sadece URL adresleri kullanılarak kelimeler öğrenilebilir vektörlere

dönüştürüldü ve sınıflandırma için kullanıldı. Bunun sonucunda en yüksek sınıflandırma performansında %98.9 sınıflandırma oranına ulaşılmıştır. Bu performans değerinin güvenilirliği kesinlik, duyarlılık ve f skoru metrikleri ile birlikte ölçülerek kanıtlanmıştır. Sonuçta aynı veri setini kullanan ve tümü 2019 yılı ve sonrasında yapılan güncel çalışmalardan daha iyi sonuç üretebilen bir model önerisi getirilmiştir.

#### 5. Kısıtlar ve Tartışma

Bu çalışmada önerilen yöntem yalnızca HTTP trafiğindeki URL'lere odaklanmaktadır. Bu nedenle http olmayan protokoller ve http şifrelemeleri kullanan kötü amaçlı web sitelerinin tanımlanması/sınıflandırılması gerçekleştirilememektedir. Kötü amaçlı URL tanımlama süreci, eğitim veri kümesi için etiketler gerektirir. Ağın tamamında belirli etiketlere sahip örneklerin bulunması da zor bir süreçtir. Ek olarak, bu çalışmada önerilen model, diğer araçlar kullanılarak oldukça zahmetli bir şekilde gözlemlenebilen veya hiç gözlemlenemeyen kötü niyetli web sitelerini ortaya çıkarmada hızlı ve yardımcı bir araçtır. Önerilen teknik, özellik olarak yalnızca URL'lerin mevcut olduğu senaryolar için uygun bir yaklaşımdır. Örneğin, bazı web sunucuları, ağ trafiğindeki diğer tüm bilgileri açık tutarken, URL verilerini özellikle korumayı tercih edebilmektedir. Bunun yanında kötü amaçlı web siteleri, tespit araçlarını atlatılmak için şifrelenmiş trafik kullanarak ağlar ile iletişime geçmeyi tercih etmektedir.

Modelimizin bir diğer sınırlaması, özellikle sosyal medya bağlamında son zamanlarda çok kullanılan URL'lerin kısa versiyonları olan URI'ler ile iyi sonuç üretmemesidir. Bu URL'lerin kısa uzunlukta olması ve önemli bilgiler içeren terimleri içerisinde barındırmaması sebebiyle, web sitelerine ait özellik vektörlerinin çıkarılması oldukça zor olmaktadır. Örnek olarak [https://atif.sobiad.com/index.jsp?modul=kullanici-ayrinti&username=RECEP+S%C4%B0NAN+ARSLAN&arastir\\_maciid=303076&alan=fen](https://atif.sobiad.com/index.jsp?modul=kullanici-ayrinti&username=RECEP+S%C4%B0NAN+ARSLAN&arastir_maciid=303076&alan=fen) gibi bir URL düşünelim. TinyURL gibi bir web adresi kısaltma servisini kullanarak ilgili URL'i kısalttığımızda hem URL yapısı ve hem de bilgilerinin kaybedilmiş olduğu "tinyurl.com/e7kyacxs" gibi bir adres ortaya çıkmaktadır. Bununla birlikte, kısaltılmış URL'ler yalnızca daha uzun ve yapılandırılmış bir URL'in çevirisi olduğundan ve önerilen model uzun hali ile iyi çalıştığından bu sorunun üstesinden gelinebilir.

#### 6. Sonuçlar ve Gelecek Çalışma Önerileri

Geniş bir kullanım alanına sahip olmaları nedeniyle web sayfalarının sınıflandırılmaları yoğun olarak araştırılan ilginç alanlardan birisidir. Web sayfalarını otomatik olarak sınıflandırmak için geliştirilmiş mevcut araçların birçoğu farklı eksiklikleri sebebiyle gerçek dünyada kullanımları yeterince yaygın değildir. İçerik tabanlı olarak sınıflandırma yapan araçlarda web sitesinin tamamen indirilmesinin gerekmesi ve bunun büyük web siteleri için uygun olmamasıdır. Tüm web sitesinin indirilmesi bu araçların verimliliklerini engeller ve çoğu halde siteye, kullanılan dile ve etki alanına da bağımlıdır. Bu sebeple genel olarak kullanılabilir değildir.

Bu çalışmada önerilen model, URL tabanlı olarak web sayfalarının otomatik sınıflandırılmaları için geliştirilmiştir. Önerilen yaklaşım, URL adreslerinin çeşitli karakterlere göre ayrılması segmentlerini alırken, her bir sınıfa ait sayfaların URL'lerini temsil eden bir model çıkarır. Bir URL adresinin hangi

bölmelerinin önemli ölçüde sınıfı temsile daha uygun olduğuna veya hangi bölümlerin soyutlanabileceğine karar verme aşaması tamamen model bırakılmıştır. Önerilen aracın en güçlü özellikleri, önceden kapsamlı bir tarama gerektirmemesi, bir web sitesinin indirilmeden sınıflandırabilmesi ve sitenin türünden, dilinden ve etki alanından bağımsız olmasıdır. Aracımızı “unb.ca” üzerinde dağıtımını yapılan ve içerisinde 5 farklı gruptan 165 bin URL barındıran veri seti ile doğruladık.

Önerilen çalışma mevcut çalışmalardan daha verimli ve gelişmiş doğruluk seviyesine sahip bir modeldir. Farklı makine öğrenmesi algoritmaları ile testler yapılarak en başarılı sonuç Logistic Regresyon ve KNN sınıflandırıcıları ile elde edilmiştir. Buna göre URL özelliklerinin çıkarılması ve sınıflandırılmasında %98.9 doğruluk oranı yakalanmıştır. Önerilen sistemin temel avantajı kara liste bağımlılığını kaldırması, tahmin için veritabanı gerektirmemesidir. Yönetimi kolaydır ve eğitim verilerine dayanarak kötü amaçlı URL’leri otomatik olarak tahmin eder. URL karmaşıklıklaştırma (obfuscating) veya atlama (bypassing) tekniklerine karşı daha fazla güvenlik sağlar. URL kısaltma ve etki alanı oluşturma algoritmalarının ortaya çıkması ile birlikte her geçen gün daha güçlü ve hızlı güvenlik altyapılarına ihtiyaç duyulmaktadır. Gelecekte önerilen model bir vekil sunucusunda veya siber güvenlik uygulamalarında kullanılan bir ağ trafik denetleyicisinde uygulanabilir.

Elde edilen bu sonuçlar, aracımızın gerçek dünya web sayfası sınıflandırması için yeterince umut verici görüldüğünü, uygulamada verimli olduğunu ve oluşturduğu modellerin web sayfalarını doğru bir şekilde sınıflandırabildiğini göstermektedir. Model tespit oranı açısından kabul edilebilir olmak ile birlikte sistemin verimliliğini daha da artırmak için derin öğrenme gibi güncel öğrenme teknolojileri kullanılabilir. Ayrıca kısa URL adreslerinden özellik üretmede kısır bir yaklaşım olması sebebiyle yeni bir özellik üretim yaklaşımı önerilebilir. Bunun yanında elde edilebilmesi mümkün olduğu takdirde, web sitelerinin kullanım istatistikleri gibi bazı aktif ve güncel veriler özellik vektörüne eklenebilir.

## Kaynakça

Ali A., Mehran F. & Mahmoud K. (2011). Intelligent Classification of web pages using contextual and visual features. *Applied Soft Computing*, 11(2), 1638-1647.

Arslan R.S. & Barışçı N. (2019). Development of Output Correction Methodology for Long Short Term Memory-based Speech Recognition, *Sustainability*, 11(15), 4250-4266.

Arslan R.S., Doğru İ.A. & Barışçı N.(2019). Permission-based malware detection system for android using machine learning techniques. *International Journal of Software Engineering and Knowledge Engineering*, 29(1), 43-61.

Baykan E., Henzinger M., Ludmila M. & Ingmar W. (2011). A comprehensive study of features and algorithms for URL-based topic classification. *ACM Transactions on the Web*, 5(3), 1-29.

Carolin J. & Elijah B. R.(2016). Intelligent phishing URL detection using association rule mining. *Humancentric Computing and Information Sciences*, 6(1), 1-19.

Chia-Mei C., Jhe-Jhun H. & Ya-Hui O. (2015). Efficient suspicious URL filtering based on reputation. *Journal of Information Security and Applications*, 20, 26-36.

Daniel L.S., Angelica G. A. & Juan M. C. (2019). Visual Content-based Web Page Categorization with Deep Transfer Learning and Metric Learning. *Neurocomputing*, 338, 418-431.

Divya K., Anupriya A.B., Nidi M. & Aditya J. (2019). Machine Learning Based Malicious URL Detection. *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, 8(4), 1-5.

Deebanchakkarawartha G., Parthan AS, Sachin L. & Surya A. (2019). Classification of URL into Malicious or Benign using Machine Learning Approach. *International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering*, 8(2) 1-4.

Dwan R.A.Jr. & Tavares A.M. (2019). Predictive Analysis: Machine Learning Model for URL Classification (Yüksek Lisans Tezi). Worcester Polytechnic Institute, Worcester.

Florian B., Martin E. & Xiaowei X. (2002, Temmuz). Frequent term-based text clustering. *International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*(pp. 436-442).

Gideon M. B. W., Thomas D., Eleri A., Herbert T.K., Edwin A. V. & Lambert S. (2021). Structure-Tags Improve Text Classification for Scholarly Document Quality Prediction, arXiv:2004.03705v3.

Google, Google Safe Browsing. (2020, Ocak, 1). Erişim Adresi <https://safebrowsing.google.com/>

Goutam C. & Tsai T. L. (2017, Aralık). A Url address aware classification of malicious websites for online security during web-surfing. *International conference on Advanced Networks and Telecommunications Systems (ANTS)*(pp. 1-6).

Guang X., Jason H., Carolyn P. R. & Lorrie C. (2011). CANTINA+: A feature-rich machine learning framework for detecting phishing web sites. *ACM Transaction Information System Security*, 14(2), 1-28.

Hidayet T., Turker A. & İbrahim S.(2007). A Text Based Anomaly Detection for Web Attacks. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 22(2), 247-253.

Imma H., Carlos R. R., David R. & Rafael C. (2016). CALA: CIAssifying Links Automatically based on their URL. *The Journal of Systems and Software*, 115, 130-143.

Jasper P., Shantanu M., Kalliopi Z. & Yingqian Z. (2019, Eylül). Term Based Semantic Clusters for Very Short Text Classification. *12th International Conference on Recent Advances in Natural Language Processing*(pp. 878-887).

Jia Z., Qing X., Shou Y. & Wai H. W.(2016). Exploring link structure for web page genre identification. *Data Mining and Knowledge Discovery*, 30, 550-575.

Lawrence K. S. & David R. K.(2004, Mayıs). Using URLs and Table Layout for Web Classification Tasks. *13th International Conference on WWW* (pp. 193-202).

Microsoft, Microsoft Smart Screen. (2021, Nisan, 6). Erişim Adresi <https://support.microsoft.com/en-us/topic/what-is-smartscreen-and-how-can-it-help-protect-me-1c9a874a-6826-be5e-45b1-67fa445a74c8>

Mohammed M., Muhammed A. R., Arash H. L. & Natalia S. (Eylül, 2016). Detecting Malicious URLs Using Lexical Analysis. *International Conference on Network and System Security*(pp. 1-17).

Mohammad S.I.M., Mohammad A.R., Arash H.L., Natalia S. & Ali A. G. (2016). Detecting Malicious URLs Using Lexical Analysis. *Network and System Security*, 467-482.

Mouad Z. & Benaceur O. (2017). A novel lightweight URL phishing detection system using SVM and similarity index. *Human-Centric Computing and Information Science*, 7(1), 1-17.

Netcraft, Active Cyber Defence. (2018, 1, Ocak). Erişim Adresi <https://www.netcraft.com/>

- Navisite, Navisite Services. (2021, 5, Nisan). Erişim Adresi <https://www.navisite.com/services/>.
- Norton, Norton Safe Web Plugin. (2021, Nisan, 6). Erişim Adresi <https://us.norton.com/feature/safe-web>
- Özgür K. Ş., Ebubekir B., Onder D. & Banu D. (2019). Machine learning based phishing detection from URLs. *Expert Systems with Applications*, 117, 345-357.
- Petros K., Dimitris G., George G. & Chrysostomos S.(2018, Temmuz). Topic recommendation using Doc2Vec. *International Joint Conference on Neural Networks* (pp. 1-6).
- Rajalakshmi R. & Sanju X. (2017). Experimental Study of Feature Weighting Techniques for URL Based Webpage Classification. *Procedia Computer Science*, 115, 218-225.
- Rajalakshmi R., Hans T., Jay P., Ankit K. & Karthik R. (2020). Design of Kids-specific URL Classifier using Recurrent Convolutional Neural Network. *Procedia Computer Science*, 167, 2124-2131.
- Rajalakshmi R. & Chandrabose A. (2018). Naive Bayes Approach for URL Classification with Supervised Feature Selection and Rejection Framework. *Computational Intelligence*, 34(2), 363-396.
- Raju B.P.R., Lakshmi B.V. & Narayana C.V. L. (2020). Detection of Multi-class Website URLs Using Machine Learning Algorithms. *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*, 9(2), 1-9.
- Sungjin K., Jinkook K. & Brent B. K.(2018). Malicious URL protection based on attackers habitual behavioral analysis. *Computer and Security*, 77, 790-806.
- Shanshan W., Zhenxiang C., Qiben Y., Ke J., Lizhi P. & Bo Y., Mauro C.(2020). Deep and broad URL feature mining for android malware detection. *Information Sciences*, 513, 600-613.
- Tie L., Gang K. & Yi P. (2020). Improving malicious URLs detection via feature engineering: Linear and nonlinear space transformation methods. *Information Systems*, 91, 1-18.
- Tomas M., Corrado G.S., Kai C. & Jeffren D. ( 2013, Mayıs). Efficient estimation of word representations in vector space. *International Conference on Learning Representations*, Scottsdale-Arizona(pp. 1-12).
- Tomas M., Ilya S., Kai C. & Corrado G.S. (2013). Distributed representations of words and phrases and their compositionality. *Advanced in Neural Information Systems*, 26, 3111-3119.
- Trevor J., Nikhil S. & Michale H.(2007, Mayıs). Defeating script injection attacks with browser-enforced embedded policies. *International Conference on World Wide Web* (pp. 601-611).
- Trendmicro, Trendmicro sitesafety.( 2021, 6 Nisan). Erişim Adresi <https://global.sitesafety.trendmicro.com/>
- Uçar E. & Uçar M. (2019, Ekim). A Deep Learning Approach for Detection of Malicious URLs. 6. *International Management Information Systems Conference Connectedness and Cybersecurity* (pp.2-10).
- Wei W., Qiao K., Jakub N., Marcin K., Rafal S. & Marcin W.(2020). Accurate and fast URL phishing detector: A convolutional neural network approach. *Computer Networks*, 178, 1-9.
- Yue Z., Jason H. & Lorrie C.(2007, Mayıs). Cantina: a content-based approach to detecting phishing web sites. *International Conference on World Wide Web*(pp. 639-648).
- Yukun L., Zhenguo Y., Xu C., Huaping Y. & Wenyin L. (2019). A stacking model using URL and HTML features for phishing webpage detection. *Future Generation Computer Systems*, 94, 27-39.
- Yurttakal A.H., Erbay H. & Arslan R.S. (2020). Grading Brain Histopathological Images Using Deep Residual Networks and Support Vector Machine. *Electronic Letters on Science and Engineering*, 16(2), 77-83.



# Comparison of Mechanical Properties of PLA and ABS Based Structures Produced by Fused Deposition Modelling Additive Manufacturing

Koray Özsoy<sup>1\*</sup>, Ali Erçetin<sup>2</sup>, Zihni Alp Çevik<sup>3</sup>

<sup>1\*</sup> Isparta University of Applied Sciences, Senirkent Vocational School, Department of Electricity and Energy, Isparta, Turkey, (ORCID: 0000-0001-8663-4466),

[korayozsoy@isparta.edu.tr](mailto:korayozsoy@isparta.edu.tr)

<sup>2</sup> Bingöl University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Mechanical Engineering, Bingol, Turkey, (ORCID: 0000-0002-7631-1361),

[aliercetin@bingol.edu.tr](mailto:aliercetin@bingol.edu.tr)

<sup>3</sup> Adıyaman University, Besni Vocational School, Department of Mechatronics, Adıyaman, Turkey, (ORCID: 0000-0003-3141-0160), [zcevik@adiyaman.edu.tr](mailto:zcevik@adiyaman.edu.tr)

(First received 16 August 2021 and in final form 7 November 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.983317)

**ATIF/REFERENCE:** Özsoy, K., Erçetin, A. & Çevik, Z.A. (2021). Comparison of mechanical properties of PLA and ABS based structures produced by fused deposition modelling additive manufacturing. *European Journal of Science and Technology*, (27), 802-809.

## Abstract

Fused deposition modelling (FDM) additive manufacturing is a technology that works horizontally and vertically in which an extrusion nozzle moves on a building platform. Knowing the mechanical properties of the parts manufactured by the FDM method is very important for the parts to work efficiently in places of usage. Additive manufacturing with the FDM method is widespread due to its advantages such as easy-to-use features, low cost, flexibility in material options, and less processing after printing. Two different polymer materials (PLA and ABS), tensile, compression test and 3 point bending tests, a total of 36 test specimens were printed on the FDM type printer. The samples obtained were subjected to mechanical tests to determine their mechanical properties. As a result of the study, the effect of the samples' mechanical properties produced by the PLA and ABS-based FDM method was examined and compared with the literature. The results showed that the mechanical properties of PLA and ABS material are highly dependent on the filling density. While the mechanical properties were improved by the increase in filling density rate, the print speed has been decreased. The research findings obtained are of a nature that will guide the optimization of the FDM method's parts in terms of mechanical properties.

**Keywords:** Additive Manufacturing, Fused Deposition Modelling, PLA, ABS, Tensile Strength, 3-Point Bending.

## Eriyik Yığma Modellemesi Eklemeli İmalat ile Üretilen PLA ve ABS Esaslı Yapıların Mekanik Özelliklerinin Karşılaştırılması

### Öz

Eriyik yığma Modellemesi (FDM), bir ekstrüzyon nozulunun bir inşa platformu üzerinde hareket ettiği yatay ve dikey olarak çalışan bir teknolojidir. FDM yöntemiyle üretilen parçaların mekanik özelliklerinin bilinmesi, parçaların kullanım yerlerinde verimli çalışabilmesi için çok önemlidir. FDM yöntemi ile eklemeli imalat, kolay kullanım özellikleri, düşük maliyeti, malzeme seçeneklerinde esneklik ve baskı sonrası daha az işlem yapılması gibi avantajları nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır. FDM tipi yazıcıda iki farklı polimer malzeme (PLA ve ABS), çekme, basma testi ve 3 nokta eğilme testleri olmak üzere toplam 36 adet test numunesi basılmıştır. Elde edilen numuneler mekanik özelliklerini belirlemek için mekanik testlere tabi tutulmuştur. Çalışma sonucunda PLA ve ABS esaslı FDM yöntemi ile üretilen numunelerin mekanik özelliklerine etkisi incelenmiş ve literatür ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen araştırma bulguları, FDM yönteminin parçalarının mekanik özellikler açısından optimizasyonuna rehberlik edecek niteliktedir.

**Anahtar Kelimeler:** Eklemeli İmalat, Eriyik Yığma Modellemesi, PLA, ABS, Çekme Dayanımı, 3-Nokta Eğme.

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

## 1. Introduction

Additive manufacturing (AM) is a manufacturing method that has entered our lives as a result of the inadequacy of traditional methods and allows the three-dimensional model drawn with computer-aided design to be presented as a product (Nagesha et al., 2020; Çevik et al., 2021). In the AM process, using the model data, a three-dimensional model is produced as a result of adding the material layer by layer (Jiang et al., 2019). The rapid production of parts with complex geometries provides freedom and development in design due to the AM method (Allevisi et al., 2019). AM processes are divided into seven categories according to the American Society for Testing and Materials (ASTM) standard. These are classified as binder jetting (BJ), directed energy deposition (DED), material extrusion (ME), material jetting, powder bed fusion (PBF), sheet lamination (SL) and photopolymerization (Tofail et al., 2018; Jiang et al., 2018). AM methods include different processes according to the material, technique and technology used. Commonly used AM methods include stereolithography (SLA), (Gür, 2021) selective laser sintering (SLS), selective laser melting (SLM), fused deposition modeling (FDM), direct metal laser sintering/melting (DMLS/M) technologies (Gardan, 2016; Celebi et al., 2020). Besides, microelectromechanical (MEMS) and actuator systems are also being fabricated with AM techniques (Ertugrul et al., 2020).

Stratasys founder Scott Crump has developed a 3D manufacturing system inspired by his young child playing with colorful play dough. The main name of this technique, which emerged in 1988, is "Fused Deposition Modeling (FDM)". Stratasys company produced its first commercial device in 1991 (Stratasys 1998). FDM is one of the 3D printing technology methods and constitutes 40% of the systems used in the industry in the world (Damodaran et al., 2021). It is a system based on the principle that the layer formed by melting fibrous thermoplastic materials is suddenly cooled and adhered to the previous layer (Burns, 1991). The plastic fiber material, wound on a roll, is fed into the heated FDM head.

In the FDM method, polymer-based material is widely used because of its easy accessibility and low cost. The most common raw materials are Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS) (Çelik et al., 2021), PolyLactic Acid (PLA) (Boğa et al., 2021),

PolyCarbonate (PC), PC/ABS mixture, epoxy, epoxy resins, polyamide (nylon), thermoset and thermoplastic polyurethane. Thermoplastic polymers are used in material extrusion and powder bed melting methods. In the material extrusion method, complex thermoplastics and semi-crystalline polymers are ideally specified in the powder bed melting method. Complex thermoplastics (ABS, PLA, etc.) are high temperature resins and have a randomly arranged molecular structure that does not have a sharp melting point. Therefore, there is a wide viscosity range and temperature control can be done easily in methods such as FDM (Demiray et al., 2018).

Studies on the effect of parameters and fill rates on mechanical properties are continuing in the production of 3D printed components (Yeşil, et al., 2018; Kaptan et al., 2020; Küçüköğlü et al., 2021). However, more detailed studies are still needed. In addition, there is a lack in the literature on comparative analysis of the mechanical properties of popularly used materials such as ABS and PLA.

This study is about examining the processing parameters and material properties of the FDM 3D printing method, which is one of the additive manufacturing methods. Test samples were drawn according to ISO standards for plastics. With the FDM 3D printing method, tensile, compression and bending test specimens containing PLA and ABS materials were produced according to the test standards. Production parameters were chosen as 0.15-0.2 mm layer thickness, 50% and 70% fill rate, 0.8 and 1.2 mm wall thicknesses, 50 mm/sec printing speed, 220 °C nozzle temperature, 60 °C table temperature. Twelve tensile, compression and bending tests were performed with three repetitions for each processing parameter of PLA and ABS material. The obtained results were compared with the literature.

## 2. Material and Method

### 2.1. Material

In the study, PLA and ABS filaments were used as workpiece materials and the general properties are given in Table 1. The experimental specimens containing PLA and ABS materials were produced using the Teira 3D brand FDM type printer device as shown in Figure 1.

Table 1. Properties of PLA+ and ABS filament

Printing temperature (°C)	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Distortion temperature (°C,0.45 MPa)	Tensile Strength (MPa)	Elongation at break (%)	Bending Strength (MPa)	Impact resistance (kJ/m <sup>2</sup> )
205-225	1.24	52	60	29	87	7.0
210-250	1.04	98	40	40	73	7.7



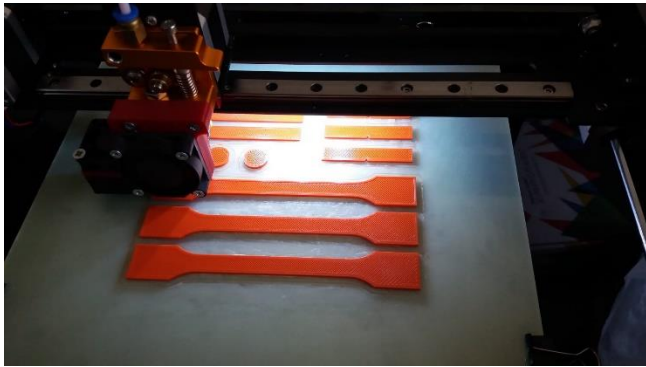


Figure 1. Manufacturing image of FDM 3D printing

2.2. Method

Figure 2 shows technical drawing and dimensions of the test specimens in ISO 527: 1993 standard for tensile strength test, in ISO 604:2002 standard for compressive test, in ISO 178:2001 standard for 3 point bending test of the samples fabricated FDM 3D printer, respectively (Pilipovic et al. 2009). Manufacturing parameters in FDM additive manufacturing using both PLA and ABS materials are given in Table 2.

Tensile test was conducted in a test machine (AGS-X, Shimadzu Co., Kyoto, Japan) with a 10 kN force transducer capacity as shown in Figure 2. Tensile test employed two grips (one fixed grip and one movable grip) to hold the specimens, the specific testing parameters for the tensile test were carried out at a pull rate of 1 mm/s. To minimize the experimental errors, three test specimens were used for each parameter and the average value was accepted as the real value of applied parameter.

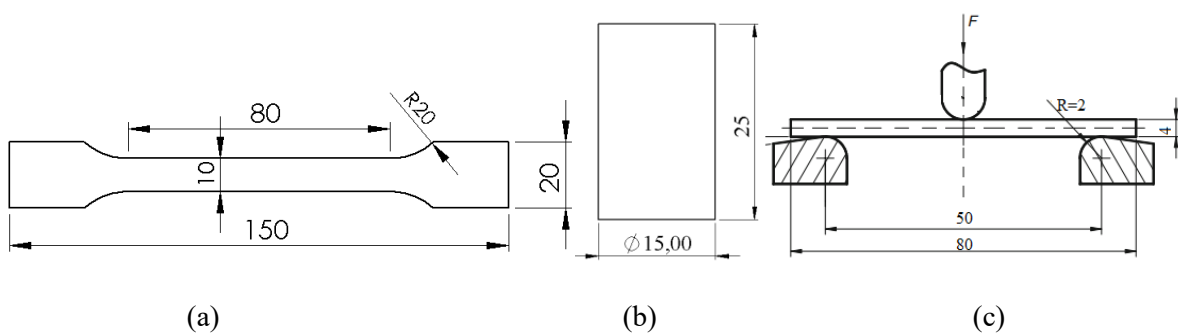


Figure 2. The specimen dimensions (mm) for a) tensile test, b) compressive test, c) 3 point bending test

Table 2. Manufacturing parameters in FDM additive manufacturing method using both PLA and ABS materials

PLA/ABS	Fill Density (%)	Layer Thickness (mm)	Wall Thickness (mm)	Print Speed (mm/s)	Nozzle Temperature (°C)	Table Temperature (°C)
1	70	0,2	1,2	50	220	60
2	50	0,15	0,8	50	220	60

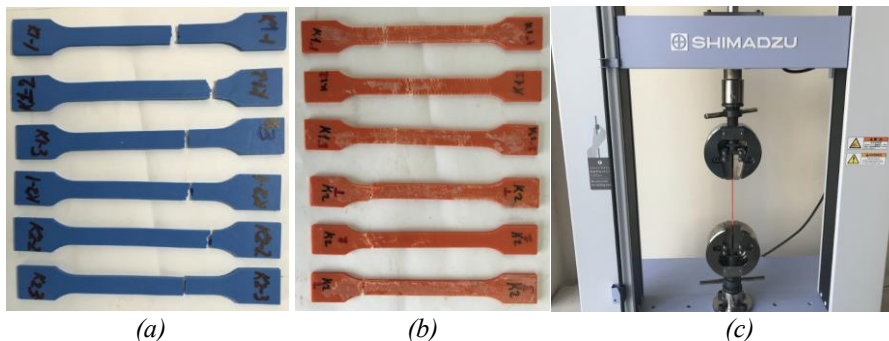


Figure 2. Images of all components of tensile strength test; a) PLA specimens b) ABS specimens c) experimental setup

A compressive test was conducted in a test machine (AGS-X, Shimadzu Co., Kyoto, Japan) with a 10 kN force transducer capacity as shown in Figure 3. The compression test is essentially the opposite of the tension test in terms of the effects of applying a load on the sample. A constant increasing compression load was

applied to both PLA and ABS material specimens placed between two grips in the study.

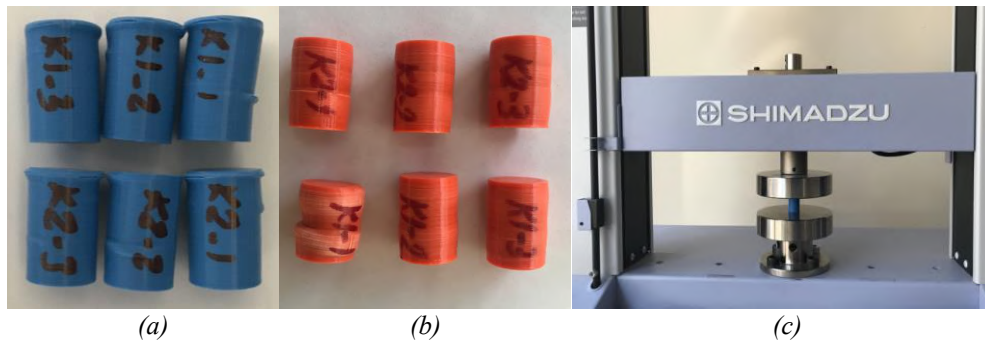


Figure 3. Images of all components of compressive test; a) PLA specimens b) ABS specimens c) experimental setup

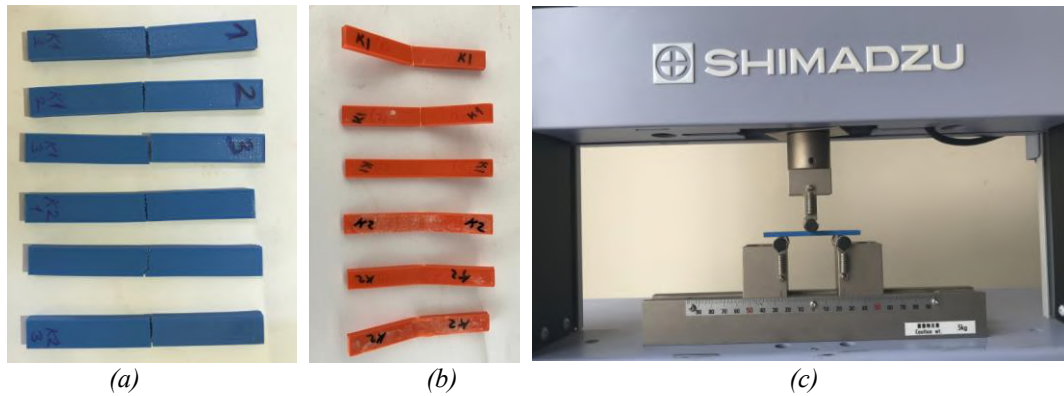


Figure 4. Images of all components of 3 point bending test; a) PLA specimens b) ABS specimens c) experimental setup

The 3-point bending test is usually performed on brittle materials as a substitute for the tensile test. Therefore, 3-point bending test gives more meaningful results in brittle materials. 3 point bending tests were carried out on the machine (AGS-X, Shimadzu Co., Kyoto, Japan) with a 10 kN force transducer capacity as shown in Figure 4. In the tests, the diameter of the mandrel and the diameter of the supports were fixed in accordance with the standard. After the assemblies were fixed, both PLA and ABS material for 3 point bending test specimens were placed on the supports and the specimens were bent with the help of a mandrel with the application of the load.

### 3. Results and Discussions

Mechanical testing sample groups manufactured by the FDM additive manufacturing method were named according to the mechanical tests to be applied. According to this; the specimen group is named with tensile test specimen group “T”, the compression test sample group “C”, 3-point bending test

specimen group with the letter “B”. The test results of tensile, compression, and bending specimens manufactured with different process parameters were determined by taking the average of three samples using two different parameters. The research findings were analyzed separately for each mechanical experiment and given in tables.

#### 3.1. Results of Tensile Strength Tests

The tensile strength test results obtained from the study are given in Table 3. In Table 3, it is seen that PLA material samples have higher strength values than ABS samples. This is due to the fact that the bond provided between the layers in the sample manufacturing process is better for PLA material samples than ABS samples. In Figure 5, it is seen that the tensile strength of both PLA and ABS material samples increased partially as the fill rate of the samples increased.

Table 3. Results of tensile tests of PLA and ABS material

PLA	Elasticity Module (GPa)	Yield Strength (MPa)	Strain (%)	ABS	Elasticity Module (GPa)	Yield Strength (MPa)	Strain (%)
T1	1.094	38.32	5.67	T1	0.704	23.45	14.14
T2	1.039	36.21	6.40	T2	0.681	22.68	13.52
T3	1.082	37.32	5.53	T3	0.676	22.82	11.51
T4	1.072	36.87	5.71	T4	0.603	19.86	7.45
T5	1.104	37.41	5.40	T5	0.624	21.29	7.66
T6	1.089	37.81	5.86	T6	0.612	20.00	9.74
Average	1.080	37.33	5.76	Average	0.65	21.68	10.67
Standard Deviation	23.01	0.73	0.351	Standard Deviation	42.10	1.53	2.86

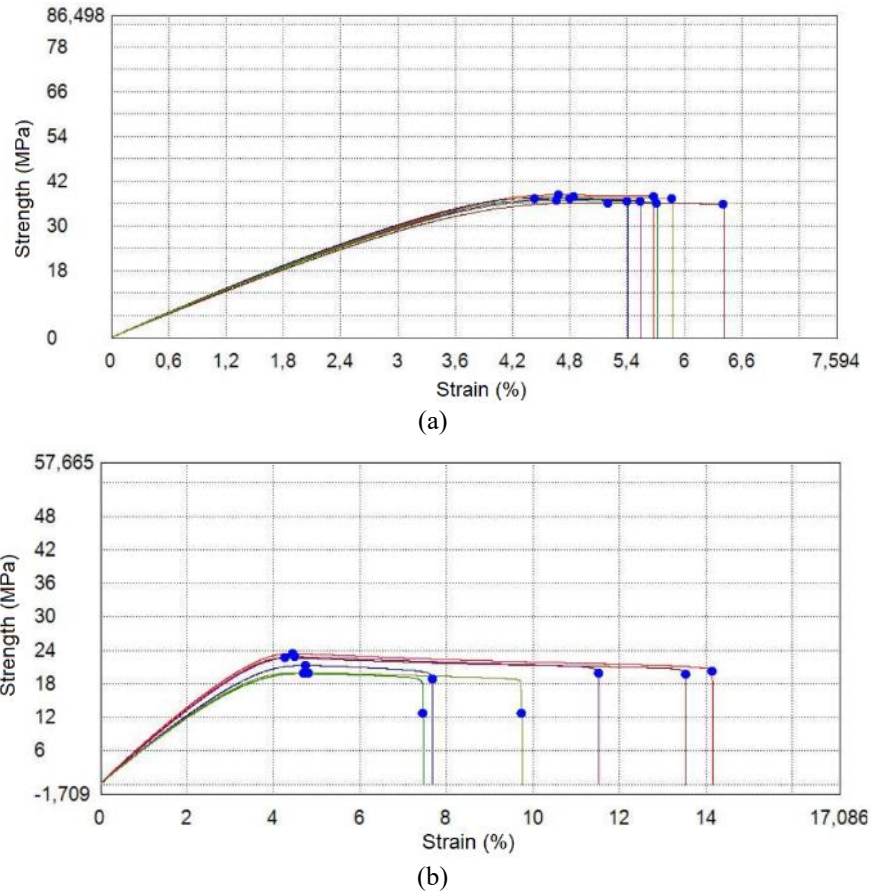


Figure 5. Stress-strain diagrams of tensile tests for samples manufactured from different parameters a) PLA material, b) ABS material

With the examining of present study and literature studies, in the Svensson study (Svensson, 2017), tensile samples were produced from PLA, ABS, Nylon and TPU materials with the FDM additive manufacturing method and subjected to a tensile test. According to the results obtained, the tensile strengths are 62 MPa, 35 MPa, 29 MPa and 55 MPa, respectively (Svensson, 2017). Grabowik et al. (2017) analyzed wood, PLA, ABS, PET, PMMA and ASA filament material group and material properties with tensile tests using FDM additive manufacturing method. In the results of tensile strength for PLA materials, the value of the peak stress is between 38 and 38.4 MPa. The value of the strain at peak stress is between 5 and 5.3%. The value of the Young's modulus is between 1074 and 1100 MPa. In the results of tensile strength for PLA materials, the value of the peak stress is between 34.6 and 35 MPa. The value of the strain at peak stress is between 5.5 and 5.6%. The value of the Young's modulus is between 856 and 864 MPa (Grabowik et al., 2017). While the tensile test results (66.5 MPa) for horizontal, (49.5 MPa) for flat, (26.1 MPa) for vertical values are obtained, the bending test results are (98.6 MPa) for horizontal, (93.5 MPa) for straight and (42.3 MPa) vertical values were obtained (Caminero et al., 2019). The results obtained in the present study are similar to the literature.

### 3.2. Results of Compression Tests

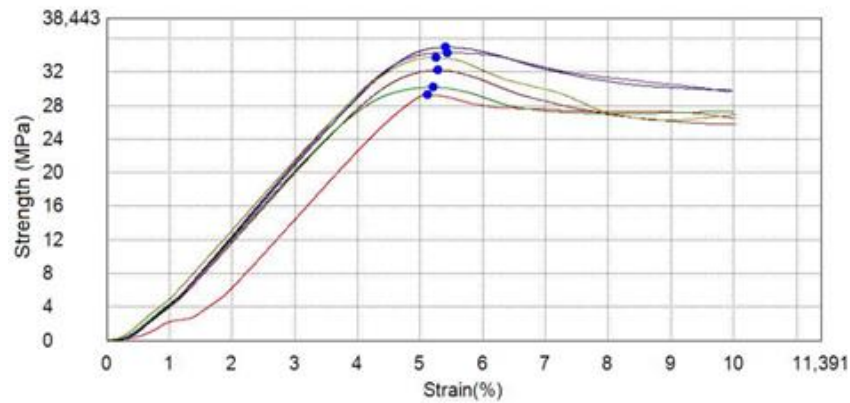
Compression test results obtained from the study are given in Table 4. With the examining the of Table 4, it is seen that PLA

material samples have higher compressive strength values than ABS samples. This is due to the differences in the molecular structure of these materials and differences in the number of branches and functional groups of polymers. PLA has a CH<sub>3</sub> and O<sub>2</sub> group substitutes in materials. This affects the chain entanglement in PLA and increases the glass transition temperature. In addition, as the fill rate increased in PLA and ABS samples, it was observed that the samples were stacked and shortened in the longitudinal section without spreading in the cross section as a result of the compression test. In Figure 6, as the fill rate of the samples decreased, the compressive strength of both PLA and ABS material increased partially. However, the ductility of ABS material shows the rigidity of ABS material and can also be expressed as its resistance to elastic stretching.

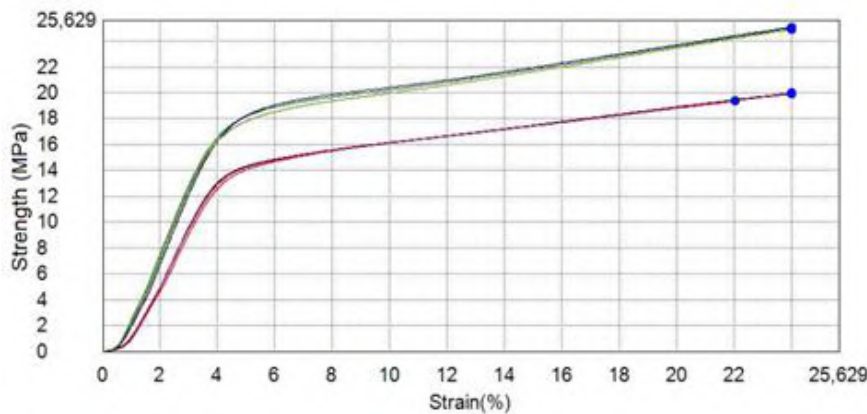
Abeykon et al. (2020) have reported that compressive strength values are 32 MPa and 25 MPa for PLA and ABS materials, respectively. The % strain values are also obtained from 6% for PLA and 17% for ABS (Abeykon et al., 2020). Sood et al. (2012) have investigated that ABS P400 material has five important processing parameters such as layer thickness, part orientation, air gap, raster angle and width, and their effects on compressive strength. The maximum compressive strength was obtained as 17.45 MPa by Sood et al., (2012). The obtained compressive strength results do not contradict other studies in the literature.

Table 4. Results of compression tests of PLA and ABS material

PLA	Elasticity Module (GPa)	Yield Strength (MPa)	Strain (%)	ABS	Elasticity Module (GPa)	Yield Strength (MPa)	Strain (%)
C1	0.814	29.32	5.11	C1	0.412	19.35	22.03
C2	0.818	32.21	5.27	C2	0.430	19.98	24.00
C3	0.865	34.31	5.42	C3	0.420	19.91	23.99
C4	0.822	30.18	5.21	C4	0.547	25.02	24.00
C5	0.857	34.95	5.40	C5	0.547	25.08	24.00
C6	0.829	33.75	5.24	C6	0.547	24.92	24.00
Average	0.834	32.45	5.27	Average	0.484	22.38	23.67
Standard Deviation	21.59	2.29	0.12	Standard Deviation	69.26	2.88	0.80



(a)



(b)

Figure 6. Stress-strain diagrams of compression tests for samples manufactured from different parameters a) PLA material, b) ABS material

### 3.3. Results of 3-Point Bending Tests

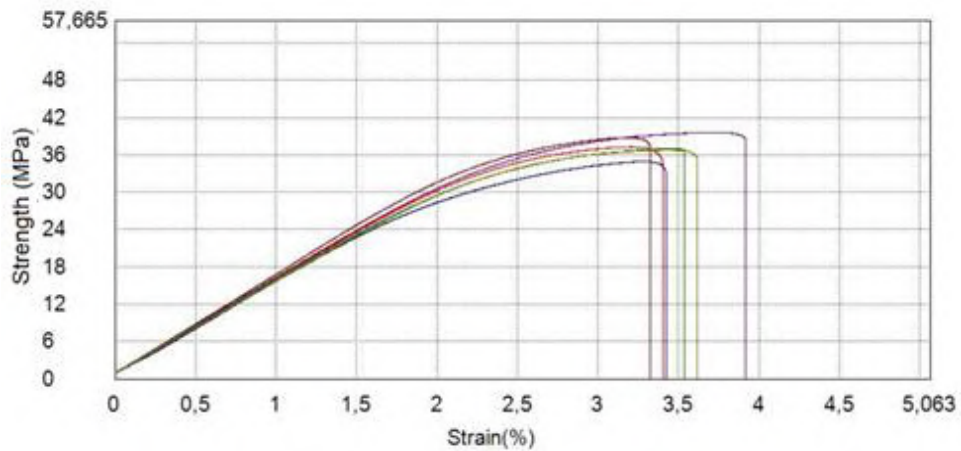
The 3-point bending test results obtained from the study are given in Table 5. Figure 7 shows stress-strain diagrams of samples manufactured from different parameters. It is seen that PLA-containing samples have higher bending strength values than ABS samples. This is due to differences in the molecular structure of these materials and differences in the number of branches and functional groups of polymers. PLA has a CH<sub>3</sub> and O<sub>2</sub> group substitutes in materials.

Palic et al. [17] have produced the samples with a layer thickness of 0.1 mm and 100% fill rate by FDM method with PLA material. Subsequently, these specimens were subjected to the three-point bending test and the obtained bending strength was 214 MPa (Palic et al., 2019). Caminero et al. (2019) subjected PLA-containing samples to tensile and three-point bending tests.

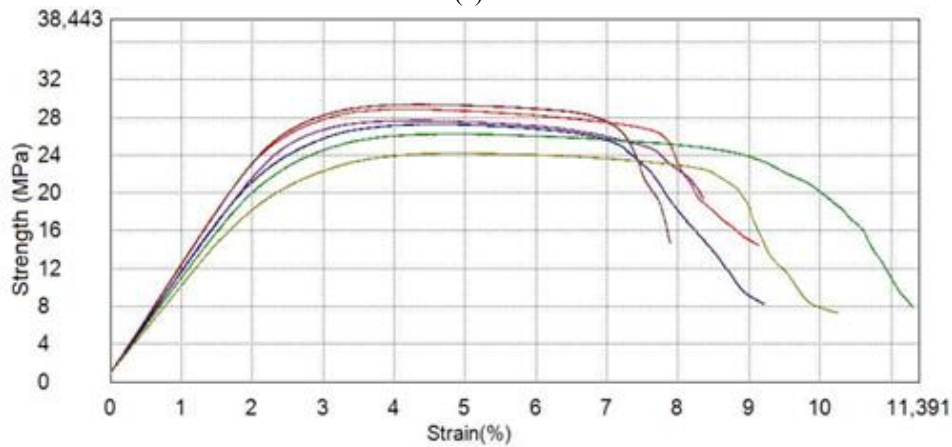
With the FDM 3D printing method, the production direction has achieved 99 MPa for flat, 94 MPa for the front edge and 43 MPa for upright (Caminero et al., 2019). In a study of Kuznetsov (2018), flexural strengths ranging from a minimum of 17.5 MPa to 70.7 MPa were obtained by changing the layer thickness with PLA material with a nozzle diameter of 0.4, 0.6 and 0.8 mm (Kuznetsov, 2018). Khuong et al. (2014) studied the bending strength properties of ABS material samples. The average stress values of the bending samples were 21MPa, and the elongation values were in the range of 12-14% (Khuong et al., 2014). Findings show that the yield strength 3 point bending tests of PLA and ABS materials variable is also related to the filling density, the results obtained are also lower than the literature value in this respect.

Tablo 5. Results of 3 point bending tests of PLA and ABS materials

PLA	Elasticity Module (GPa)	Yield Strength (MPa)	Strain (%)	ABS	Elasticity Module (GPa)	Yield Strength (MPa)	Strain (%)
B1	1.565	37.26	3.40	B1	1.161	28.90	9.14
B2	1.596	38.76	3.32	B2	1.156	29.39	7.88
B3	1.568	39.61	3.91	B3	1.052	27.69	8.36
B4	1.522	36.99	3.53	B4	0.996	26.27	11.30
B5	1.535	34.95	3.42	B5	1.089	27.30	9.21
B6	1.496	36.79	3.61	B6	0.923	24.23	10.25
Average	1.547	1.63	3.53	Average	1.063	27.30	9.36
Standard Deviation	36.18	4.66	0.21	Standard Deviation	92.60	1.87	1.25



(a)



(b)

Figure 7. Stress-strain diagrams of 3-point bending tests for samples manufactured from different parameters a) PLA material, b) ABS material

#### 4. Conclusions

In the study, tensile, compression and three-point bending test specimens were produced through FDM additive manufacturing method with PLA and ABS type filament in accordance with the standards. The direct effects of parameters such as layer thickness, filling ratio and nozzle temperature on mechanical properties were investigated. The mechanical properties of PLA and ABS materials are also compared. According to the findings obtained from the experimental results, it has been observed that the

increase in the filling rate improves the mechanical properties. The best mechanical properties belong to test specimens made of PLA material. ABS materials have the highest strain, and still the analysis results show that it is the lowest strength as compare PLA material. However, their properties depend on the reinforcing agent which is added to binding. In future studies, estimation or regression analysis regarding the surface quality can be examined via big data and artificial intelligence algorithms by expanding the number of materials used in the study and changing the process parameters.

References

- Abeykoon, C., Sri-Amphorn, P., & Fernando, A. (2020). Optimization of fused deposition modeling parameters for improved PLA and ABS 3D printed structures. *International Journal of Lightweight Materials and Manufacture*, 3(3), 284-297.
- Allevi, G., Capponi, L., Castellini, P., Chiariotti, P., Docchio, F., Freni, F., ... & Tomasini, E. P. (2019). Investigating additive manufactured lattice structures: a multi-instrument approach. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 69(5), 2459-2467.
- Boğa, C., Seyedzavvar, M., & Zehir, B. (2021). Experimental investigation on the effects of internal architecture on the mechanical properties of 3D printed PLA components. *European Journal of Science and Technology*, (24), 119-124.
- Burns, M., *Rapid Prototyping: System Selection & Implementation Guide*, Managent Rountable, Massachusetts, 1991.
- Camirero, M. Á., Chacon J. M. et al. (2019). Additive manufacturing of PLA-based composites using fused filament fabrication: Effect of graphene nanoplatelet reinforcement on mechanical properties, dimensional accuracy and texture, *Polymers*, 11 (5), 799.
- Celebi, A., Gulizia, S., Doblin, C., Fraser, D., Prentice, L. (2020). Characterization of tantalum–titanium powders with universal powder bed (UPB) system for electron beam melting Process. *Russian Journal of Non-Ferrous Metals*, 61(3), 346-353.
- Çelik, S., & Gür, Y. (2021). The effect of printing parameters on mechanical properties of ABS and carbon fibre reinforced ABS composites fabricated with 3D printer. *Journal of Balikesir University Institute of Science and Technology*, 23(1), 200-209.
- Çevik, Z. A., Özsoy, K., Erçetin, A. (2021). The effect of machining process on the physical and surface morphology of Ti6Al4V specimens produced through powder bed fusion additive manufacturing, *International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry*, 5(2), 187-194.
- Damodaran, A., Sugavaneswaran, M. & Lessard, L. (2021). An overview of additive manufacturing technologies for musical wind instruments. *SN Applied Sciences*, 3, 162.
- Demiray M.A., Şekerci B., Saltık O., Kayacan M.C. (2018). Ekllemeli İmalat Yöntemlerinde Kullanılan Malzemeler. 3. *Uluslararası 3B Baskı Teknolojileri ve Dijital Endüstri Kongresi*, s.93.
- Ertugrul, I., Akkus, N., Aygul, E., Yalcinkaya, S. (2020). MEMS Fabrication Using 2PP Technique Based 3D Printer. *International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry*, 4(1), 12-17.
- Gardan, J. (2016). Additive manufacturing technologies: state of the art and trends. *International Journal of Production Research*, 54(10), 3118-3132.
- Grabowik, C., Kalinowski, K., Ćwikła, G., Paprocka, I., & Kogut, P. (2017). Tensile tests of specimens made of selected group of the filament materials manufactured with FDM method. *In MATEC Web of Conferences*, 112, Page 04017. EDP Sciences.
- Gür, Y. (2021). Fabrication of an anatomical foot bone structure from computerised tomography data by an ultraviolet led 3D printer. *European Journal of Science and Technology*, (22), 128-133.
- Jiang, J., Hu, G., Li, X., Xu, X., Zheng, P., & Stringer, J. (2019). Analysis and prediction of printable bridge length in fused deposition modelling based on back propagation neural network. *Virtual and Physical Prototyping*, 14(3), 253-266.
- Jiang, J.; Xu, X.; Stringer, J. Support Structures for Additive Manufacturing: A Review. *J. Manuf. Mater. Process.* 2018, 2, 64.
- Kaptan, A., & Kartal, F. (2020). The effect of fill rate on mechanical properties of PLA printed samples. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 10(3), 1919-1927.
- Kuznetsov, V. E., Solonin, A. N., Urzhumtsev, O. D., Schilling, R., & Tavitov, A. G. (2018). Strength of PLA components fabricated with fused deposition technology using a desktop 3D printer as a function of geometrical parameters of the process. *Polymers*, 10(3), 313.
- Khuong, T. L., Gang, Z., Farid, M., Yu, R., Sun, Z. Z., & Rizwan, M. (2014). Tensile strength and flexural strength testing of acrylonitrile butadiene styrene (ABS) materials for biomimetic robotic applications. *In Journal of Biomimetics, Biomaterials and Biomedical Engineering*, 20, 11-21.
- Küçüköğlü, A., Yüce, C., Karpat, F., Okar, H. İ., Sözer, İ. E., & Kurt, N. (2021). Investigation of the process parameters on the laser transmission welding of PMMA and ABS materials. *Uludağ University Journal of the Faculty of Engineering*, 26(2), 481-492.
- Nagesha, B. K., Dhinakaran, V., Shree, M. V., Kumar, K. M., Chalawadi, D., & Sathish, T. (2020). Review on characterization and impacts of the lattice structure in additive manufacturing. *Materials Today: Proceedings*, 21, 916-919.
- Palic, N., Zivic, F. et al. (2019). Mechanical behaviour of small load bearing structures fabricated by 3D printing, *Applied Engineering Letters: Journal of Engineering and Applied Sciences*, 4, 88-92.
- Pilipović, A., Raos, P., & Šercer, M. (2009). Experimental analysis of properties of materials for rapid prototyping. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 40(1), 105-115.
- Sood, A. K., Ohdar, R. K., & Mahapatra, S. S. (2012). Experimental investigation and empirical modelling of FDM process for compressive strength improvement. *Journal of Advanced Research*, 3(1), 81-90.
- Stratasys, 1998. Erişim Tarihi: 23.11.2018 <http://www.stratasys.com/Technology.aspx>
- Svensson, E., (2017). Material characterization of 3D-printed energy-absorbent polymers inspired by nature, Master Thesis, Chalmers University of Technology Department of Materials and Manufacturing Technology, Sweden.
- Tofail, S. A., Koumoulos, E. P., Bandyopadhyay, A., Bose, S., O'Donoghue, L., & Charitidis, C. (2018). Additive manufacturing: scientific and technological challenges, market uptake and opportunities. *Materials today*, 21(1), 22-37.
- Yeşil, Ö., & Mazanoğlu, K. (2018). Effects of filling ratio, orientation and print temperature on bending properties of 3d printed PLA beams. *Usak University Journal of Engineering Sciences*, 1(2), 66-75.



# Sustainability of University Campuses; Bilecik Seyh Edebali University Example, Bilecik/Turkey

Hilal Kahveci<sup>1</sup>

<sup>1\*</sup> Bilecik Seyh Edebali University, Faculty of Fine Arts and Design, Department of Interior Architecture and Environmental Design, Bilecik, Turkey, (ORCID: 0000-0002-4516-7491), hilal.kahveci@bilecik.edu.tr

(First received 16 August 2021 and in final form 6 October 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.983505)

**ATIF/REFERENCE:** Kahveci, H. (2021). Sustainability of University Campuses; Bilecik Seyh Edebali University Example, Bilecik/Turkey. *European Journal of Science and Technology*, (27), 810-817.

## Abstract

Cities provide people with unnatural environments where green areas decrease and environmental problems arise along with modern life. Population growth, water and air pollution, especially climate change, deforestation, and species decline are some of the increasing environmental problems in urban areas. The concept of 'sustainability' has come to the fore in order to prevent environmental problems that arise worldwide and to protect ecosystems. The sustainable urbanization approach includes all environmental (built environment/natural environment), social and economic factors that are affected by urban development and that affect urban development in an interrelated manner, and predicts combining economic and social development with the aim of environmental protection and improvement. In this context, university campuses, which are an extension of urban areas, can act as a laboratory as an example of a small city model on a pilot basis.

The fact that the socio-cultural level and environmental awareness rate of university students and staff are higher than those living in urban areas will ensure more efficient sustainable practices in campus areas. In this study, the situation of the university campuses and the landscape components of the Bilecik Şeyh Edebali University campus area regarding the concept of 'sustainability' has been examined. In Bilecik Şeyh Edebali University campus, minimizing the use of natural resources, integrated waste management, water management to reduce the effects of global warming, and long-term holistic planning approaches have been discussed. In addition, proposals have been presented by considering innovative approaches in the planning and design of campuses and urban areas within the scope of the basic principles of sustainability specific to Bilecik Şeyh Edebali University campus. As a result, the importance of university campus areas for sustainable cities has been emphasized and it has been revealed that significant contributions to sustainability would be possible by cooperating with local governments.

**Keywords:** Environmental problems; Sustainability; University campus areas.

## Üniversite Yerleşkelerinin Sürdürülebilirliği; BŞEÜ Örneği, Bilecik/Türkiye

### Öz

Kentler insanlara çağdaş yaşamla birlikte, yeşil alanların azaldığı çevresel sorunların ortaya çıktığı yapay çevreler sunmaktadır. İklim değişikliği başta olmak üzere nüfus artışı, su ve hava kirliliği, ormanların ve bitkilerin azalması kentsel alanlarda ortaya çıkan çevresel problemlerden bazılarıdır. Dünya çapında ortaya çıkan çevre sorunlarının önüne geçebilme ve ekosistemlerin korunabilmesi için 'sürdürülebilirlik' kavramı gündeme gelmiştir. Sürdürülebilir kentleşme yaklaşımı, kentsel gelişmenin etkilediği ve kentsel gelişmeyi etkileyen tüm çevresel (yapılı çevre/doğal çevre), sosyal, ekonomik unsurları birbiriyle ilişkili biçimde olup; ekonomik ve sosyal gelişimin çevre koruma ve iyileştirme amacı ile birleştirilmesini ön görmektedir. Bu bağlamda kentsel alanların bir uzantısı olan üniversite yerleşkeleri pilot bazda, küçük birer kent modeli örneği olarak, adeta laboratuvar görevini üstlenebilir. Üniversite öğrenci ve personelinin sosyokültürel seviyesinin, çevre bilinci oranının kentsel alanlarda yaşayanlara oranla daha yüksek olması yerleşke alanlarında sürdürülebilir uygulamaların daha verimli olmasını sağlayacaktır. Bu çalışmada üniversite yerleşkelerinin ve Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi kampüs alanındaki peyzaj bileşenlerinin 'sürdürülebilirlik' kavramı ile ilgili durumu irdelenmiştir. Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi yerleşkesinde doğal kaynakların kullanımının en aza indirilmesi, entegre atık yönetimi, küresel ısınmanın etkilerini azaltma için su yönetimi ve enerji verimliliğinin artırılmasında uzun vadeli bütüncül planlama yaklaşımları ele alınmıştır. Ayrıca Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi yerleşkesi özelinde sürdürülebilirlik temel ilkeleri kapsamında kampüsler ve kentsel alanların planlama ve tasarım alanlarında yenilikçi yaklaşımlar ele alınarak öneriler geliştirilmiştir. Sonuç olarak sürdürülebilir kentler için üniversite yerleşke alanlarının önemi vurgulanmış yerel yönetimlerle işbirliği yapılarak sürdürülebilirliğe önemli katkılar sağlanacağı ortaya çıkmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Çevresel problemler, sürdürülebilirlik, üniversite kampüs alanları.

## 1. Introduction

The main cause of global environmental problems that threaten all humanity is urbanization due to rapid population growth. Urbanization is one of the developments that occur as a result of humanity's excessive intervention in nature and that threatens natural resources the most (Erdoğan 2006; Dinçtürk et al. 2020). Rapidly growing urban areas are developing at the expense of fragmentation of natural areas and reduced ecosystem functionality. This situation reduces biodiversity and decreases the quality of human life gradually (Kop 2011). In order to cope with the negative consequences of urbanization and living conditions, planning and design approaches are reviewed for an environmentally friendly and sustainable life that respects the ecological cycle (Onur 2020). By ensuring the sustainability of cities, it is vital not only to solve the environmental problems but also to increase the quality of life of the current population and to create livable spaces where future generations can easily maintain their lives.

The rate of urbanization is increasing worldwide and it is predicted that this figure will reach higher rates by 2050 (Strokala et al. 2021). Interventions to nature and natural areas where we live in mutual interaction are increasing and the rate of green space is decreasing day by day on a global scale. Today, the measures taken to solve these problems are evaluated under the general definition of "sustainable approach". Sustainability is considered to be an economic, social, and ecological concept. The term – "sustainable development" – was adopted by the Agenda 21 program of the United Nations in 1992 (Emanuel and Adams 2010). The UN Intergovernmental Panel on climate change bring out a report that says "urgent and unprecedented changes are needed to reach the target" of reducing the global warming. Also they say that countries must follow the Paris Agreement, conversely the world faces the complete degradation of corals and the melting of the Arctic ice caps (URL 5). With sustainable approaches, it is aimed to protect nature in its current form and to transfer it to future generations. In this context, rain gardens, vertical gardens, roof gardens, increasing permeable surfaces and the use of renewable energy in urban areas are some of these studies. These studies are at the focus of the landscape architecture profession as in many other professional disciplines (Bayramoğlu et al., 2020).

Sustainability studies are on the agenda of the world, and various institutions and organizations have started to work on this issue. Sustainability in architecture certification system that Leadership in Energy and Environmental Design (LEED) was developed by US Green Building Council (USGBC) in 1998. The other is American Society Landscape Architects (ASLA) regarding sustainable certificate system for landscape architecture. Their criteria are sustainable topography, water efficiency, energy and atmosphere, materials and resources, air quality, reform and design phases, hydrology, soil, vegetation, human health and wellbeing (Arıdağ and Gürbüz, 2013). The European Environment Agency describes the objectives to be achieved in order to ensure urban sustainability (EEA 1995; Karakurt Tosun 2020):

- Minimizing the use of space and natural resources
- Managing urban flows effectively
- Protecting the health of the urban population
- Ensuring equal access to resources and services

Universities are the learning facilities for current and future leaders. They have the potential to provide innovative solutions to some of our greatest global challenges via their research activities. Universities have many spending opportunities, and solutions to improve human, ecosystem wellbeing, locally, and globally (Cole 2003; Özdoğan and Civelekoğlu, 2014). Universities give much attention to sustainability, but they too often disregard the problems of transportation and land use (Norton et al., 2007). The intensive discussion of the concept of sustainability by higher education institutions has started to question whether these institutions are also sustainable (Bilgili and Topal, 2021). According to the United Nations Environment Program-UNEP; Universities are micro-universes of environmental problems. The reason for this is that the society in the university is faced with all environmental problems, from greenhouse gas emissions to noise pollution (Özdoğan and Civelekoğlu, 2014). Most campuses have been designed as pedestrian campuses but in general culture encourages driving at every opportunity. This causes a pressure on campus management to develop parking lots, increase the size and number of roadways, and neglect the type of infrastructure that would encourage non-motorized transportation (Kaplan, 2015).

University campuses, an extension of urban areas, can act as a laboratory as an example of a small city model on a pilot basis with their population and many activities they take (Günerhan and Günerhan 2016). In addition, university campuses have an important place in the identity of the city with their social and cultural activities as well as education and training activities (Ertekin and Corbaci 2010). The fact that the socio-cultural level and environmental awareness rate of students and staff at universities are higher than those living in urban areas will ensure that sustainable practices are more efficient in campus areas (Işıldar 2015). The most basic principle to be considered for ecological landscape design in university campuses is the evaluation of the climate and topographic data that preserve the natural landscape character, the use of local/recyclable building materials and renewable energy sources in the design, the use of alternative green areas within the urban open-green area system and performing design studies that prefer natural vegetation in these areas. In this context, the sustainability indicators of universities are classified as effective use of climate data, regulations in energy and substance release, recovery of energy and waste, appropriate use of topographic data, effective use of natural resources and use of natural vegetation (Yıldız 2020). Addressing these indicators in urban planning and design approaches with various regulations is priority for a livable world. According to Günerhan and Günerhan (2016), in order to be a sustainable university; it is emphasized that research on sustainability should be encouraged, sustainability should be included in the curriculum in all disciplines, the importance of collaborations (public, governments, non-governmental organizations, private sector, other universities), and the need for interdisciplinary studies. Meetings and committees on sustainability are organized around the world and say that there is urgent need for every level of society to review their actions. In Canada Campus Sustainability Assessment Framework (CSAF) committee was established (Cole 2003). Also the United Nations Climate Change Conferences in Mexico (2010) and South Africa (2011) have further highlighted the need for a paradigm shift towards building a low-carbon sustainable society to deal with climate change (Too and Bajrachary, 2015). Velazquez et al. (2006) proposed a sustainable university model in their work (Figure 1).



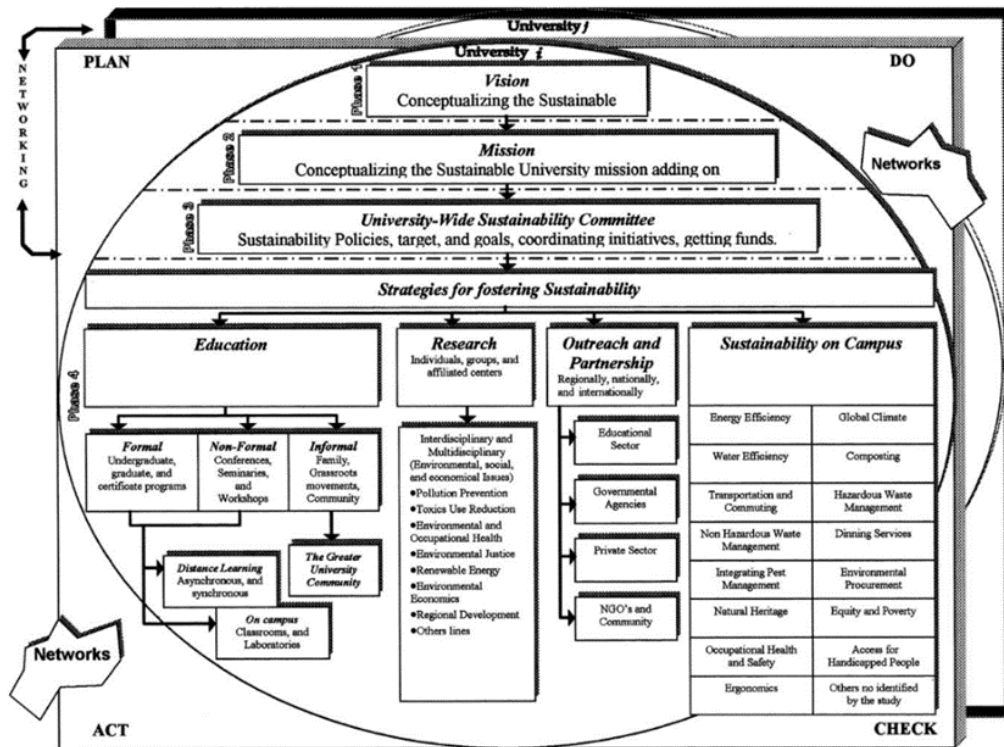


Figure 1. Sustainable university model (Velazquez et al. 2006).

In this context, the developing university campus in Bilecik has been determined as the study area, and its sustainable approaches have been discussed. In the light of all these data, our aims are;

- Addressing the issue of sustainability in university campuses, which are an important part of urban areas.
- Presenting the current sustainable studies on the BŞEÜ campus and offering alternatives to these studies.
- To raise awareness about sustainability and to make sustainable suggestions for the future.

## 2. Material and Method

### 2.1. Material

Bilecik Şeyh Edebali University, which was established in 2007, maintains its educational activities with 9 faculties, 1 institute, 1 college and 7 vocational colleges. As of 2020, the total number of students in the university is 16904, and there are 622 academic and 261 administrative staff, and this number is increasing every year. Being a developing university, it offers opportunities in terms of considering holistic approaches to sustainability in planning and design studies. In the study, the data of sustainable practice studies, maps and visuals in the BŞEÜ campus constitute the materials of the research.

Study Area:

The altitude of the study area is around 570 m and it is located at coordinates 40° 11' N-29° 58'E (Figure 2). BŞEÜ Gülümbe campus and has a 422500 m<sup>2</sup> open area and 31316 m<sup>2</sup> green area. In Bilecik, where BŞEÜ is located, autumn and winter months are rainy and summer is dry. In Bilecik, where a transitional climate is experienced, the average temperature varies around 19.0 °C throughout the year, and the annual precipitation average is around 458 mm (URL 1). In Bilecik, the characteristics of three plant geographies can be seen: Europe-Siberia, Mediterranean and Iran-Turan (Davis 1965; Erdem 2018). Thanks to its mild

climate, Bilecik, where many plant species grow, also has important potential in terms of forest existence. Red pines growing in the Mediterranean climate, yellow pines and hazelnut trees growing in the Black Sea climate can be seen together in Bilecik geography (BEBKA, 2018).

### 2.2. Method

Within the scope of the subject, many studies were performed and analysis and synthesis stages were carried out (URL 2; URL 3; Siu Yu Lau et al. 2014). Various networks created today, such as the International Sustainable Campuses Network (ISCN), provide communication and coordination as the widest network of member universities in America, Europe and Asia with various study groups, seminars and conferences, and awards given. Another organization is the Green Metric University Sustainability Rating (URL 2,2021), which evaluates and compares sustainability efforts on university campuses worldwide. Within the scope of this study, ISCN, Green Metric criteria and sustainability criteria were obtained from many studies (Table 1). The method flow chart of the study is summarized in Figure 3.

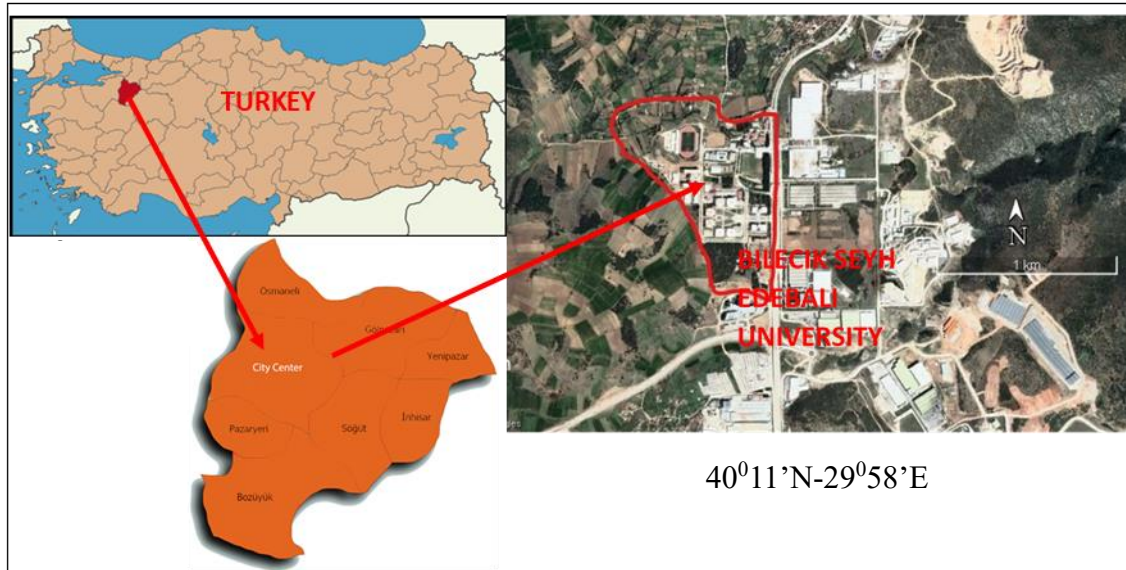


Figure 2. Study area



Figure 3. Study diagram

Table 1. Sustainability criteria

Effective use of natural resources	The use of natural vegetation, the use of plants with high water tolerance, use of natural stones
Water management	Efficient use of water, treatment of wastewater at high levels with appropriate technologies and reuse of treated water, water-efficient landscaping (gravel garden, rock garden ect.)
Energy and waste management	Zero waste management and recycling studies, photocell lighting, energy-efficient landscaping, reduction of electricity use
Use of renewable energy	Use of solar energy, wind energy, wave energy, geothermal energy, hydraulic energy, biomass energy
Clean transportation	Minimizing harmful gases, to reduce greenhouse gas emission, pedestrianizing on-campus transportation, directing the use of bicycles, increasing the use of electric vehicles
Accessibility	It is the state in which all living individuals can access and use all public services without the need of anyone
Protection and development of ecosystems	Conservation and development of flora and fauna
Creation of alternative green areas	Increasing green surfaces, green roof and green wall design and increasing permeable surfaces
Awareness in the field of education	Student involvement – looks at student participation in sustainability initiatives and support for these activities by school administrators, the inclusion of courses on sustainability in course curricula

### 3. Results

Within the scope of the study, the data were obtained from the departments related to the sustainability studies carried out

on the campus of Bilecik Şeyh Edebali University. The sustainability studies carried out are listed below (Table 2).

Table 2. The sustainability studies in Bilecik Şeyh Edebali University

<p><b>-Wastewater management</b></p> <p>There is 1 wastewater treatment plant within the body of BŞEU. In the facility, wastewater is collected in a channel and transmitted to the wastewater plant. Here, water is purified from harmful substances by applying various processes and finally it is discharged.</p>	
<p><b>-Renewable energy</b></p> <p>BŞEU has 63 solar panels as renewable energy systems. 36 of these panels are connected to the electricity grid of the university and provide electricity. The remaining 27 are used for experimental purposes.</p>	
<p><b>- Zero waste management</b></p> <p>It is aimed to reduce costs by reducing waste, to provide savings and economic gain, to spread the sense of sensitive consumer, to collect wastes and to recycle them with clean and environmentalist approaches. In this context, 6 garbage bins were distributed to each unit (5+1) within the scope of zero waste coordination. Waste is collected in segregated boxes and transported to recycling areas by the local municipality.</p>	
<p><b>-Accessibility,</b></p> <p>Today, as important design criteria, supporting the quality of life; it is necessary to build egalitarian, safe, accessible and sustainable cities for people. In this sense, BŞÜ has carried out important studies on accessibility. BŞÜ T.C. It won the 3rd prize in the "Turkey Accessibility Awards Accessible Universities" category organized by the Ministry of Family, Labor and Social Services (URL 4, 2021). Accessibility is provided by disabled ramps, floor differences, elevator transportation in building usage, and disabled parking lots at close distances at building entrances.</p>	
<p><b>-Clean transportation</b></p> <p>According to the American College and University President's climate commitment, some of main action options to reduce greenhouse gas (GHG) emissions are to adopt an energy-efficient appliance and encourage the use of public transportation for all campus members (Vasquez et al. 2015). In order to reduce the use of motor vehicles in the university campus area, bicycles are available in front of the rectorate, available to all (Figure 4). In addition, since the units are located in the close distance in the campus area, it is not necessary to use a motor vehicle. Apart from this, academic and administrative staff, students and visitors are free to enter the campus area by vehicle. During periods of intense education, there is the use of vehicles and therefore harmful gases.</p>	
<p><b>-Use of recycled materials</b></p> <p>Use of natural stones provides advantages in terms of durability and recycling. Also wood, flexible and sustainable building material and are among the recyclable materials (Aydın and Alemdağ, 2014). So there are various pieces of furniture for the use of individuals in the campus area consisting of wood, stone and steel. This furniture can be recycled when they are damaged or removed from the area.</p>	
<p><b>- Sustainability of green areas:</b></p> <p>In recent years, it is noteworthy that plant material is used as a dominant element in environmental design projects made by both public and private institutions. University campuses, which are seen as an extension of urban habitats, are among the areas where intensive plant material is used for this purpose (Açıksöz et. al. 2014). The use of native plants (Peterson et. al. 2012) and plants with high water tolerance is very important in creating sustainable green spaces. Some of the plant inventory used in the open areas of BŞEU has been specified and it has been observed that content plants are used in terms of water demand. These plants</p>	

are given in the table below (Table 3). There are ecologically, aesthetically and functionally interesting plant compositions in the campus area. Evergreen trees and shrubs, deciduous trees and shrubs, fruit trees, perennials and ground cover plants are the elements that form the green texture in the BŞEÜ campus. These plant species and their water requirements are given in Table 3.

*-Creation of Alternative Green Areas*

Although BŞEÜ seems to be sufficient in terms of green surfaces, there are concrete walls reaching 5 meters in some places. These walls can be considered as vertical walls to bring the campus in them aesthetically and ecologically.

Although there are green areas in the campus area, there are impermeable asphalt, concrete road, pavements, parking areas, hard floor activity areas. In these areas, buffer green surfaces and gravel surfaces can be preferred to separate pedestrian-vehicle traffic and increase permeable surfaces.

*-Awareness in the field of education*

Sustainability-related courses are included in the curricula of the departments of BŞEÜ. In this context, especially master's and doctoral students can be encouraged to the studies such as thesis and project in the fields of sustainability.

Table 3. Plant species on the BSEU campus

Plant Species	Water Request
<i>Tilia tomentosa</i>	Low
<i>Aesculus hippocastanum</i>	Medium
<i>Pinus sylvestris</i>	Low
<i>Pinus brutia</i>	Low
<i>Platanus orientalis</i>	Mediumü
<i>Populus nigra</i>	Low
<i>Prunus avium</i>	Medium
<i>Punica granatum</i>	Low
<i>Prunus cerasifera</i>	Medium
<i>Malus domestica</i>	Medium
<i>Salix caprea</i>	High/Medium
<i>Fraxinus angustifolia</i>	High
<i>Cupressus macrocarpa</i> 'Goldcrest'	Low/ Medium
<i>Cedrus libani</i> (Orta)	Medium
<i>Koelreuteria paniculata</i>	Medium
<i>Lagerstroemia indica</i>	Low/ Medium
<i>Cercis siliquastrum</i>	Low/ Medium
<i>Cotoneaster franchetti</i>	Low
<i>Euonimus japonica</i> 'Aurea'	Medium
<i>Santolina chamaecyparissus</i>	Low
<i>Photinia fraserii</i>	Medium
<i>Lavandula angustifolia</i>	Low
<i>Pinus mugo</i>	Medium
<i>Hydrangea macrophylla</i>	High



Figure 4. Images from the BŞEÜ campus area (1-2-4-6: Main circulation, 3-5: Campus square (public areas); 7-9: Car park; 8: Green area separating car park and main road; 10; bike parking are)

#### 4. Conclusions and Recommendations

Migration from villages to cities has increased with industrialization, and the increase in population in urban areas has caused many environmental problems. We started to encounter problems that are difficult to solve such as rapid consumption of natural resources in urban areas, solid waste problems, depletion of water resources with global warming, melting of glaciers. In order to solve or minimize these problems, it is necessary to start nature protection and improvement activities as soon as possible. Sustainable urbanization, conservation and improvement of natural resources integrates its purpose with the aim of social and economic development. In this sense, campus areas, which are the extensions of urban areas, can be selected as a small city model and sustainable approaches can be implemented. In this study, wastewater facility, solar panels, zero waste management, accessible transportation network, free use of bicycles, use of plants with medium/low water demand, and efficiently used green areas were specified in the BŞEÜ Gülümbe campus. Within the scope of sustainability, projects have been started in various units of the university for the reuse of wastewater and rainwater. The projects have been carried out on recycling and recycling of wastes as raw materials with the garbage bins placed in the units by the zero waste management unit. Bicycles in front of the Rectorate should also be placed at several different points of the university in order to reach more pedestrians. As a result, it has been seen that the sustainable solutions existing in the BŞEÜ campus should be emphasized and that there is a need for projects in wider application areas.

For a sustainable campus design, the following suggestions can be evaluated at the BŞEÜ campus;

- In the campus area with significant rainfall, rainwater should be stored by various methods and used for irrigation. Preventing the loss of water by surface flow by increasing rain ditches, rain gardens, and permeable surfaces, and directing the flow of water to storage units can be given as examples.

- In order to make green areas look rich and to save water, alternative ground cover plants can be used instead of grass surfaces with high water demand.

- In order to benefit from natural landscape elements, the use of indigenous plants can be increased, and the use of plants with high water tolerance from these plants can be encouraged. Also natural stones (marble, granite, basalt etc.) are recyclable and economical. Natural stone use leads to eco-friendly designs.

- The rock garden, which is the reflection of the natural landscape to the city, will also be efficient in water management on the BŞEÜ campus.

- Concept garden approaches can be included in the campus area for the landscape to be effective. For example, medicinal and aromatic herb gardens, hobby gardens are some of them.

- More energy can be obtained by increasing the number of solar energy systems used, and wind energy, which is another renewable energy, can also be taken into consideration.

- Ensuring ecologically sensitive and sustainable development of built environments in the campus area and city (LEED and ASLA certified)

- Landscape structures with unproductive soils or deteriorated by external factors should be improved and maintained.

- Sustainability-related courses can be increased in order to make students aware of the environment.

- Social events related to sustainability can be organized for both staff and students.

- Universities, which are a part of the city, should be a member of participants consisting of all relevant local groups in making decisions about the future of the city.

#### 5. Acknowledge

Thanks to the units at Bilecik Seyh Edebali University that helped me to obtain data.

## References

- Aydın, Ö. and Alemdağ, E. L. 2014. Karadeniz Geleneksel Mimarisinde Sürdürülebilir Malzemeler; Ahşap ve Taş, The Journal of International Social Research, Volume: 7 Issue: 35, Issn: 1307-9581.
- Arıdağ, L. and Gürbüz, R., 2013. Sürdürülebilir Peyzaj Tasarımı İçin Asla Ve Leed Kriterlerinin Karşılaştırılması, Beykent Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt 6(2), 77 – 92
- Bayramoğlu E., Bekar, M., Kurdoğlu, B. Ç., 2020. Dikey bahçe tasarımının estetik ve işlevsel boyutu: KTÜ Kanuni Kampüs, Artvin Coruh University Journal of Forestry Faculty ISSN:2146-1880, e-ISSN: 2146-698X, Vol: 21, Issue:2, Pages: 223-230.
- BEBKA (2018), T.C. Bursa Eskişehir Bilecik Kalkınma Ajansı, Doğa/Nature Bilecik, Seçil ofset.
- Bilgili, M.Y. and Topal, A. 2021. Sürdürülebilir Yükseköğretim Kurumları Oluşturulmasında Talloires Deklarasyonunun Rolü ve Önemi, Journal of Higher Education and Science, 11(2), 417-424.
- Cole L. 2003. Assessing Sustainability On Canadian University Campuses: Development Of A Campus Sustainability Assessment Framework, Assessing Sustainability of Canadian University Campuses.
- Davis P.H., 1965. Flora of Turkey and the East Aegean Islands, Volume 1-9, Edinburgh University Press, Edinburgh, 1965-1985.
- Dinçtürk C, Dal İ, Açıksöz S, 2020. Salgının Öğretileri ve Yeni Dış Mekân Kullanımları, Bartın Orman Fakültesi Dergisi, 22 (3): 791-801, DOI: 10.24011/barofd.773189.
- EEA 1995, European Environment Agency annual report 1995, Erişim: [https://www.eea.europa.eu/publications/corporate\\_document\\_1995\\_1](https://www.eea.europa.eu/publications/corporate_document_1995_1), 2021.
- Erdoğan E. 2006. Çevre ve Kent Estetiği, ZKÜ Bartın Orman Fakültesi Dergisi, Cilt:8 Sayı:9
- Erdem, C.B. 2018. Abbaslık Köyü (Bilecik) Florası Ve Etnobotanik Özellikleri, Hacettepe Üniversitesi Biyoloji Anabilimdalı, Y. Lisans Tezi, Ankara.
- Emanuel, R. and Adams, J. N. (2010). College students' perceptions of campus sustainability, International Journal of Sustainability in Higher Education, Vol. 12 No. 1, pp. 79-92 Emerald Group Publishing Limited, 1467-6370, DOI 10.1108/14676371111098320.
- Ertekin M and Çorbacı Ö L, 2010. Üniversite Kampüslerinde Peyzaj Tasarımı (Karabük Üniversitesi Peyzaj Projesi Örneği), Kastamonu Üni., Orman Fakültesi Dergisi, 10 (1): 55-67.
- Günerhan, S., Günerhan, H. 2016. "Türkiye İçin Sürdürülebilir Üniversite Modeli," Mühendis ve Makina, cilt 57, sayı 682, s. 54-62.
- İşıldar, G. Y., 2015. Sürdürülebilir Kentler İçin Üniversite Yerleşkelerinin Rolü, Yerel Politikalar, vol. 0, no. 1.
- Kaplan, D.H. 2015. Transportation sustainability on a university campus, International Journal of Sustainability in Higher e-ISSN: 2148-2683
- Education, Vol. 16 No. 2, 2015 pp. 173-186, Emerald Group Publishing Limited 1467-6370, DOI 10.1108/IJSHE-03-2013-0023
- Karakurt Tosun, E. 2020. Sürdürülebilirlik Olgusu ve Kentsel Yapiya Etkileri, Ekonomi, Sosyoloji ve Politika Dergisi, (e-dergi), <http://www.paradoks.org>, ISSN 1305-7979, Yıl:5 Sayı:2.
- Kop, A. 2011. Koruma Alanı Yakınındaki Hızlı Kentleşmenin Peyzaj Ekolojisi Yaklaşımı İle İrdelenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Y. Lisans Tezi, İstanbul.
- Onur M. 2020. Covid-19 Salgın Döneminde Peyzaj ve İnsan İlişkisinin Mekânsal Tercihler Üzerinden İncelenmesi, Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi / The Journal of International Social Research, Cilt: 13 Sayı: 74.
- Peterson, M. N., Thurmond, B., Mchale, M., Rodriquez, S., Bondell, H.D. and Cook, M., 2012. Predicting native plant landscaping preferences in urban areas, Sustainable Cities and Society, 5, 70–76.
- Siu Yu Lau, S., Gou, Z. and Liu, Y. 2014. Healthy campus by open space design: Approaches and guidelines, Frontiers of Architectural Research 3, 452–467 Open access under CC BY-NC-ND license.
- Strokal, M., Bai, Z., Franssen, W., Hofstra, N., Koelmans, A.A., Ludwig, F., Ma, L., Puijenbroek, Spanier, J.E., Vermeulen, L.C., Vliet, M.T.H., Wijnen, J., Kroeze, J., 2021. Urbanization: an increasing source of multiple pollutants to rivers in the 21st century. Urban Sustainability1:24; <https://doi.org/10.1038/s42949-021-00026-w>.
- Too, L. and Bajrachary, B. 2015. Sustainable campus: engaging the community in sustainability, International Journal of Sustainability in Higher Education, Vol. 16 No. 1, pp. 57-71.
- Velazquez, L., Munguia, N., Platt, A. and Taddei, J. (2006), "Sustainable university: what can be the matter?", Journal of Cleaner Production, Vol. 14 Nos 9/10/11, pp. 810-819.
- Vasquez, L., Iriarte, A., Almeida, M. and Villalobos, P. 2015. Evaluation of greenhouse gas emissions and proposals for their reduction at a university campus in Chile, Journal of Cleaner Production, 108, 924-930.
- Yıldız N E, 2020. Üniversite Yerleşkelerinde Ekolojik Peyzaj Tasarımı: Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Örneği, Journal of Social and Humanities Sciences Research, 7(62), 3594-3604.
- URL 1, (2021). <http://www.bilecik.gov.tr/cografi-yapi>.
- URL 2,2021. <http://greenmetric.ui.ac.id/>
- URL 3, 2021. [http://bildungskoalition.ch/media/medialibrary/2012/02/ISC-N-GULF\\_Charter\\_Guidelines\\_20101027.pdf](http://bildungskoalition.ch/media/medialibrary/2012/02/ISC-N-GULF_Charter_Guidelines_20101027.pdf)
- URL 4, 2021. <http://www.bilecik.edu.tr/Icerik/8409>
- URL 5, 2021. [https://en.wikipedia.org/wiki/Sustainability\\_studies](https://en.wikipedia.org/wiki/Sustainability_studies)



# Endometrium Kanseri Radyoterapisinde Alan Dışı Meme Dozlarının TLD ile Dozimetrik Olarak İncelenmesi

Gökçen İnan<sup>1\*</sup>, Osman Vefa Gül<sup>2</sup>, Hamit Başaran<sup>3</sup>

<sup>1\*</sup> Selçuk Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Radyasyon Onkolojisi, Konya, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-2995-0256), gokceninan85@gmail.com

<sup>2</sup> Selçuk Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Radyasyon Onkolojisi, Konya, Türkiye (ORCID: 0000-0002-6773-3132), vefagul@selcuk.edu.tr

<sup>3</sup> Selçuk Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Radyasyon Onkolojisi, Konya, Türkiye (ORCID: 0000-0002-2122-8720), drhbasaran@gmail.com

(İlk Geliş Tarihi 27 August 2021 ve Kabul Tarihi 10 November 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.987094)

**ATIF/REFERENCE:** İnan, G., Gul, O.V. & Başaran, H. (2021). Endometrium Kanseri Radyoterapisinde Alan Dışı Meme Dozlarının TLD ile Dozimetrik Olarak İncelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (27), 818-822.

## Öz

Radyoterapi alan hastalarda tedavi bölgesi dışında uzak organlarda istenmeyen dozlar meydana gelmektedir. Bu dozlar tedavi planlama sistemi (TPS) tarafından doğru olarak hesaplanmayabilir. Bu çalışma endometrium kanseri nedeniyle radyoterapi alan gerçek bir hastayı taklit eden bir fantom üzerinde alan içi alan konformal radyoterapi (FIF) ve yoğunluk ayarlı radyoterapi (YART) tekniklerinde termoluminesans dozimetre (TLD) kullanılarak alan dışı dozları ölçmeyi amaçlamaktadır. Alderson kadın rando fantom üzerinde endometrium bölgesi hedef tedavi hacmi olarak seçilmiştir. Alderson Rando fantom simüle edilerek ve 25 fraksiyonda 45 Gy ile Varian DHX lineer hızlandırıcıda üç farklı teknikte planlar oluşturulmuştur (FIF, 5A-YART, 7A-YART). Fantomda meme hacmi içerisine TLD-100 dozimetreleri yerleştirildikten sonra fantom ışınlanmıştır. Her bir teknik için elde edilen doz ölçümleri TPS dozları ile karşılaştırılmıştır. Sağ memenin TLD doz ölçümlerinin ortalaması FIF, 5A-YART ve 7A-YART teknikleri için sırasıyla 20.60±0.26 cGy, 23.32±0.16 cGy ve 27.11±0.28 cGy olarak ölçülmüştür. Sol memenin TLD doz ölçümlerinin ortalaması FIF, 5A-YART ve 7A-YART teknikleri için sırasıyla 20.17±0.13 cGy, 22.35±0.18 cGy ve 26.13±0.10 cGy olarak bulunmuştur. Sağ ve sol meme için TPS'den alınan ortalama doz değerleri 0 cGy olarak bulunmuştur. Sağ meme ve sol meme ortalama doz değerlerinde 5A-YART ve 7A-YART teknikleri için anlamlı fark bulunmuştur (p=0.000). Meme gibi radyasyona duyarlı dokular radyoterapi tedavisinde alan dışı dozdan etkilenebilmektedir. Endometrium kanseri radyoterapide en uygun tedavi tekniği seçilirken alan dışı dozlara dikkat edilmesi tedaviye pozitif katkı sağlayacaktır.

**Anahtar Kelimeler:** Alan dışı doz, Endometrium kanseri, Termoluminesans dozimetre

## Dosimetric Investigation of Out-of-Field Breast with TLD in Endometrial Cancer Radiotherapy

### Abstract

Unwanted doses may occur in distant organs, outside of the region where we want to be irradiated in patients treated with radiotherapy. These doses may not be accurately calculated by the treatment planning system (TPS). This study aims to measure out-of-field doses using thermoluminescence dosimetry (TLD) in field in field conformal radiotherapy (FIF) and intensity modulated radiotherapy (IMRT) techniques on a phantom imitating the real patient receiving radiotherapy for endometrial cancer. Endometrium region on Alderson female rando phantom was selected as the target treatment volume. Plans were created by simulating the Alderson Rando phantom and using three different techniques (FIF, 5A-IMRT, 7A-IMRT) in a Varian DHX linear accelerator with 45 Gy in 25 fractions After TLD-100 dosimeters were placed in the breast volume in the phantom, the phantom was irradiated. TLD dose measurements obtained for each technique and TPS doses were compared. The mean TLD dose measurements of the right breast were measured as 20.60±0.26 cGy, 23.32±0.16 cGy, and 27.11±0.28 cGy for the FIF, 5A-IMRT, and 7W-IMRT techniques, respectively. The mean TLD dose measurements of the left breast were found to be 20.17±0.13 cGy, 22.35±0.18 cGy, and 26.13±0.10 cGy for the FIF, 5A-IMART, and 7A-IMRT techniques, respectively. The mean dose values obtained from TPS for the right and left breasts were found to be 0 cGy. A significant difference was found in the mean dose values of the right breast and left breast for the 5A-IMRT and 7A-IMRT techniques (p=0.000). Radiation-sensitive tissues such as the breast may be affected by out-of-field dose in radiotherapy treatment. When choosing the most appropriate treatment technique in endometrial cancer radiotherapy, paying attention to out-of-field doses will make a positive contribution to the treatment.

**Keywords:** Out of field dose, Endometrim cancer, Thermoluminescence dosimeter.

\* Sorumlu Yazar: [gokceninan85@gmail.com](mailto:gokceninan85@gmail.com)

## 1. Giriş

Endometrium kanseri gelişmiş ülkelerde yaygın olarak görülen jinekolojik kanserlerdendir. Radyoterapi tedavisi endometrium kanserinde önemli bir rol oynamaktadır (1). Radyoterapi tedavi planlamasının amacı, kritik organları ve sağlıklı dokuları koruyarak hedef hacme en iyi doz konformasyonunu sağlamaktır (2,3). İyonlaştırıcı radyasyonun kanser hastalıklarının tedavisi için kullanımı, hastanın sağ kalımı arttıkça ve yeni tedavi teknikleri ortaya çıktıkça sürekli olarak gelişmektedir (4). Radyoterapide hedef hacim dışında kalan sağlıklı dokular istenmeyen dozlar alabilmektedir. Radyoterapi gören hastalar, birincil ışından alan içi dozları ve aynı zamanda ışın hattında ve hasta içinde üretilen ikincil radyasyondan kaynaklanan alan dışı dozları da almaktadırlar (5). Alan dışı dozlar; kaynak cilt mesafesi (SSD), alan boyutları, ışınlanan yapının derinliği, tedavide kullanılan foton enerjisi, ölçüm yapılan alan dışındaki noktanın lateral pozisyonu ve bu noktanın ışın eksenine uzaklığına bağlıdır (6). Alan dışı saçılan radyasyon, düşük enerjili, yumuşak X-ışını radyasyonu ve elektron kontaminasyonu kaynaklarından gelen düşük doz radyasyonun tüm vücuda maruz kalması nedeniyle tedavi sırasında bir endişe kaynağı oluşturmaktadır (7).

Tedavi planlama sistemi (TPS) hedef hacim içerisinde dozu doğru bir şekilde hesaplayabildiği hacimlerin ötesinde iç saçılma ve sızıntıdan doz alan kritik dokular bulunmaktadır (8). Alan dışı organ dozları, tıpkı saha içi organlarda olduğu gibi ikinci kanser riskini azaltmak için yönetilmelidir, ancak ikincil radyasyondan kaynaklanan alan dışı dozlar, genellikle klinik TPS hesaplanmaz, çünkü bu dozlar saha içi dozlardan daha düşüktür. Ayrıca, TPS doğruluğu genellikle alan kenarının dışında birkaç santimetre ile sınırlıdır (9). Düşük dozlarda radyasyona maruz kalma durumunda; genetik değişiklikler, karsinojen etki, ömür kısalması, aplastik anemi ve katarakt oluşumu gibi etkiler radyasyonun geç etkileridirler ve başlıca sağlık risklerini oluştururlar (10).

Çalışmamızda endometrium kanserlerinin FIF, 5A-YART ve 7A-YART teknikleri ile radyoterapisinde alan dışındaki sağlıklı dokulardan olan, sağ ve sol memenin aldığı dozun dozimetrik olarak incelenmesi amaçlanmaktadır. İnsan eşdeğeri Rando fantomda TLD ile ölçülen sağ ve sol meme dozları, TPS'den elde edilen doz değerleri ile karşılaştırılacaktır

## 2. Materyal ve Metot

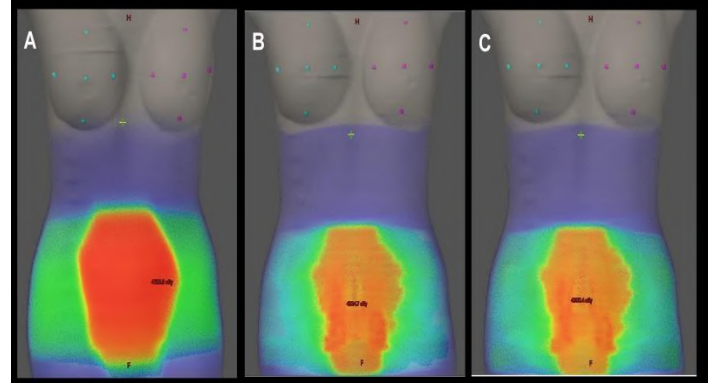
### 2.1. Alderson Rando Fantomun Hazırlanması ve Konturlaması

Çalışmamızda kullanılan Alderson Rando fantom gerçek insan eşdeğeridir. Doku yoğunluğu  $0.975 \text{ gr/cm}^3$  ve akciğerlerin yoğunluğu  $0.25-0.3 \text{ gr/cm}^3$  tür (11). Alderson Rando fantom Toshiba marka bilgisayarlı tomografi (BT) cihazına şeffaf baş altı yastık kullanılarak supin olarak yatırılmıştır. Endometrium bölgesi tedavi alanı olacak şekilde referans noktaları belirlenerek 2.5 mm kalınlıkta kesitler oluşturacak şekilde BT görüntüleri çekilmiştir. BT'den elde edilen görüntüler tedavi planlama sistemine (TPS) aktarılmıştır. Gross Tümör Hacim (GTV), Klinik Hedef Hacim (CTV) ve Planlanan Hedef Hacim (PTV) gibi hedef hacimler, Uluslararası Radyasyon Üniteleri ve Ölçümleri Komisyonu (ICRU) 83' de tanımlanan kriterlere göre tanımlanmıştır (12). Kritik organlar olarak mesane, rektum,

bağırsak, sağ ve sol femur başları konturlanmıştır. Bütün konturlama işlemleri tek bir radyasyon onkoloğu tarafından tanımlanmıştır.

### 2.2. Tedavi planlama

Çalışmamızda Eclipse V.15.1 TPS kullanılarak oluşturulan FIF, 5A-YART ve 7A-YART planlarının doz hesaplamalarında "Anisotropic Analytical Algorithm, AAA" algoritması kullanılmıştır. Tedavi dozu 45 Gy (1.8 Gy x 25 fraksiyon) olarak belirlenmiştir. FIF planlarında, 18 MV X-ışını kullanılarak 4 alan box tekniğinde ışın açıları olarak  $0^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $180^\circ$  ve  $270^\circ$  lik açılar kullanılmıştır. Belirlenen alanlar kopyalanmış ve çizdirilen sıcak doz bölgeleri kapatılarak yeniden hesaplatılmıştır. YART planları tersten planlama (inverse planning) yöntemiyle 6 MV X-ışını kullanılarak hazırlanmıştır. YART tekniğinde, 5A-YART planı  $0^\circ$ ,  $72^\circ$ ,  $144^\circ$ ,  $216^\circ$  ve  $288^\circ$  'lik açılar kullanılarak sanal plan oluşturulmuştur. 7A-YART planında ise  $0^\circ$ ,  $52^\circ$ ,  $104^\circ$ ,  $156^\circ$ ,  $204^\circ$ ,  $256^\circ$  ve  $308^\circ$  lik açılar kullanılmıştır. Planlar oluşturulurken hedef hacimlere minimum ve maksimum doz sınırlamaları yapılarak PTV' nin %95' inin tanımlanan dozun %100' ünü alması hedeflenmiştir. Risk altındaki organlara belirlenen kriterler arasında en düşük dozu verebilmek için gerekli doz sınırlamaları yapılmıştır.



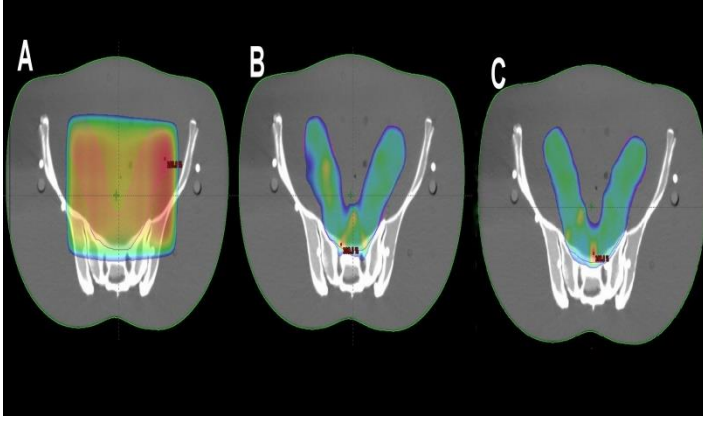
Şekil 1. Rando fantom içerisindeki TLD konumları

### 2.3. TLD kalibrasyonu

TLD dozimetrelerin üretimleri sırasında farklı miktarlarda katkıları nedeniyle tuzak yapıları farklıdır bu nedenle; tuzak yapılarının farklı olmasından kaynaklanan duyarlılık farklılıklarının ortadan kaldırılması amacıyla kalibrasyon yapılmalıdır. Bu çalışmada  $3.2\text{mm} \times 3.2\text{mm} \times 0.9\text{mm}$  boyutlarında çip şeklinde doğal lityum florüre (LiF) Mg ve Ti ile katkılandırılmasıyla elde edilmiş olan TLD-100 dozimetreleri kullanılmıştır. TLD dozimetreler aynı zamanda ışınlama kalibrasyon öncesi tavlama işlemi yapılmalıdır. Tavlama işlemi ışınlama sonrası kalan radyasyonun silinmesi tüm tuzakların boşatılması TLD hassasiyeti açısından önemlidir. 60 adet LiF:Mg,Ti (TLD 100) dozimetreler fırında  $400^\circ\text{C}$ 'de 1 saat ardından  $100^\circ\text{C}$ 'de 2 saat tavlansınır. Tüm mevcut TLD'ler, her birine isim verilerek kalibrasyon ve doz ölçüm işlemleri yapılmıştır. 60 adet TLD çipinden sapması fazla olanlar elenmiştir. Relatif standart sapması  $\pm 1\%$  in altında olan yani doz cevapları birbirine yakın olan 60 TLD çipi çalışma için seçilmiş ve kullanılmak üzere kalibrasyonu yapılmıştır. TLD'ler Varian DHX lineer hızlandırıcı cihazı ve bolus kullanılarak  $10 \text{ cm} \times 10$  alanda, SSD 100 cm (kaynak cilt mesafesi) ve yüzeyden 1,5 cm derinlikte her bir dozimetre 1Gy olacak şekilde ışınlanmıştır. Her tedavi planlamasından sonra TLD' ler



yerlerinden çıkartılarak ölçümleri yapılmıştır. TLD' lerin okunma işlemine geçmeden önce kararsız tuzaklardan kaynaklanan lüminesans sinyallerini gidermek amacıyla ön ısıtma işlemi fırında 100°C'de 10 dk süreyle bekletilmiştir. TLD' lerin doz ölçüm işlemi bölümümüzde bulunan dozimetri laboratuvarında Harshaw marka 3500 model TLD okuyucu kullanılarak yapılmıştır.



Şekil 2. A:FIF tekniği için doz dağılımı, B: 5A-YART tedavi tekniği için doz dağılımı, C: 7A-YART tedavi tekniği için doz dağılımı

## 2.4. Alan Dışı Dozların TLD ile Ölçülmesi

Alan dışı dozların TLD ile ölçülmesi için TPS' de Alderson rando fantom üzerinde sanal olarak hazırlanan FIF, 5A-YART ve 7A-YART planları, Varian DHX tedavi cihazına aktarılmıştır. Alderson rando fantomun hedef hacimden 18 cm alan dışı uzaklıkta bulunan her iki memesi için sol, sağ, üst, alt ve merkezinde olmak üzere 5 farklı noktaya TLD roduları yerleştirilmiştir. Rando fantom içerisindeki TLD konumları Şekil 1.de gösterilmiştir. Her bir noktaya üçer adet TLD yerleştirilmiştir. TLD' ler arasında hava kalmasını engellemek amacıyla rando fantom ile aynı malzemeden yapılmış doku eşdeğeri tıplar kullanılmıştır. Ölçümler FIF, 5A-YART ve 7A-YART planları için üçer defa tekrarlanarak yapılmıştır. Ölçümler sonrasında her iki meme için farklı noktalardan TLD ile ölçülen doz değerlerinin ortalamaları alınmıştır. Elde edilen ortalamalar 25 fraksiyon sonucunda bu bölgelerin aldığı dozlara ulaşmak için 25 ile çarpılarak sonuçlar hesaplanmıştır. Belirlenen noktalardaki absorbe dozlar okunarak TPS' den elde edilen doz değerleri ile karşılaştırılmıştır.

## 2.5. İstatistiksel Analiz

Tüm veriler Sosyal Bilimler için İstatistiksel Paket (SPSS) yazılımında (sürüm 25.1, IBM) kaydedildi ve analiz edildi. Tedavi planları arasındaki ilişkiyi değerlendirmek için One-Way Anova kullanılmıştır.  $p < 0.05$  istatistiksel olarak anlamlı kabul edildi.

Tablo 1. Varian DHX tedavi cihazında ışınlanan TLD' lerin ortalama doz ölçüm değerleri ile Eclipse TPS' de hesaplan doz değerleri

Konum		FIF (cGy)	5 YART (cGy)	7 YART (cGy)	TPS (cGy)
Sağ meme	Sol	19.65±0.37	20.91±0.97	24.51±0.57	0
	Sağ	22.59±0.80	25.98±0.62	24.76±0.25	0
	Üst	10.70±0.33	12.35±0.15	15.58±0.12	0
	Alt	31.09±0.38	37.84±0.21	41.72±0.46	0
	Merkez	18.98±0.71	19.51±0.40	28.98±1.39	0
	Ortalama doz	20.60±0.26	23.32±0.16	27.11±0.28	0
Sol meme	Sol	18.46±0.15	20.82±0.41	22.80±0.48	0
	Sağ	18.71±0.33	19.69±0.11	24.73±0.31	0
	Üst	10.66±0.22	11.46±0.58	14.55±1.06	0
	Alt	29.25±0.35	34.58±0.62	38.30±0.21	0
	Merkez	23.80±0.48	25.18±0.42	30.28±0.57	0
	Ortalama doz	20.17±0.13	22.35±0.18	26.13±0.10	0

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

### 3.1. Bulgular

FIF, 5A-YART ve 7A-YART ile yapılan planlara ait doz dağılımları Şekil 2. de gösterilmiştir. TPS' de oluşturulan üç farklı plan için planlanan hedef hacim, risk altındaki organlar (mesane, rektum, sağ femur, sol femur ve bağırsak), konformalite indeks (CI) ve homojenite indeks (HI) Tablo 2.' de verilmiştir. Buna göre; PTV için 7A-YART tekniği FIF ve 5A-YART tekniklere göre daha üstün bulunmuştur. CI değeri FIF, 5A-YART ve 7A-YART planlama teknikleri için sırasıyla, 1.85, 0.83 ve 0.89 olarak bulunmuştur. FIF tekniği için HI değeri 0.05 iken diğer iki teknik için sırasıyla 0.09 ve 0.08 olarak bulunmuştur. Mesane ve rektumun  $D_{ort}$ ,  $V_{30}$ ,  $V_{45}$  ve  $V_{50}$  değerleri için 7A-YART tekniği diğer tedavi tekniklerine göre üstün bulunmuştur. Sağ femur ve sol femurun  $D_{ort}$ ,  $V_{20}$  değerleri için

7A-YART tekniği diğer tedavi tekniklerine göre üstün bulunmuştur. Ayrıca 7A-YART tekniği bağırsak  $D_{ort}$  değeri için daha iyi koruma sağlamaktadır. FIF, 5A-YART ve 7A-YART tedavi tekniklerinde her iki meme için TPS ve TLD ortalama doz değerleri Tablo II' de verilmiştir. Sağ ve sol meme için TPS' den alınan ortalama doz değerleri 0 cGy olarak bulunmuştur. Sağ memenin TLD doz ölçümlerinin ortalaması FIF, 5A-YART ve 7A-YART teknikleri için sırasıyla 20.60±0.26 cGy, 23.32±0.16 cGy ve 27.11±0.28 cGy olarak ölçülmüştür. Sol memenin TLD doz ölçümlerinin ortalaması FIF, 5A-YART ve 7A-YART teknikleri için sırasıyla 20.17±0.13 cGy, 22.35±0.18 cGy ve 26.13±0.10 cGy olarak bulunmuştur. FIF ve 5A-YART teknikleri arasında anlamlı fark görülmüş olup, sağ ve sol meme ortalama doz değerleri için anlamlı olarak bulunmuştur ( $p=0.000$ ). FIF ve 7A-YART teknikleri arasında anlamlı fark gözlenmiş olup sağ meme ve sol meme ortalama doz değerleri için anlamlı olarak bulunmuştur ( $p=0.000$ ).

**Tablo 2.** TPS’de PTV ve kritik organ doz değerleri

Parametreler		FIF	5 A	7 A
PTV	D <sub>98</sub> (cGy)	4414	4445	4449
	D <sub>95</sub> (cGy)	4400	4423	4450
	D <sub>50</sub> (cGy)	4588	4557	4552
	D <sub>2</sub> (cGy)	4660	4754	4728
	CI	1.85	0.83	0.89
	HI	0.05	0.09	0.08
Mesane	D <sub>ortalama</sub>	4370	3536	3321
	V <sub>30</sub>	4524	4097	3827
	V <sub>45</sub>	4495	3843	3406
	V <sub>50</sub>	4483	3719	3285
Rektum	D <sub>ortalama</sub>	4214	3478	3247
	V <sub>30</sub>	4593	4087	4010
	V <sub>45</sub>	4505	3888	3673
	V <sub>50</sub>	4467	3803	3394
Sağ Femur	D <sub>ortalama</sub>	1928	1806	1263
	D <sub>mak</sub>	4408	3850	3270
	V <sub>20</sub>	2548	2315	2269
Sol Femur	D <sub>ortalama</sub>	2180	1824	1259
	D <sub>mak</sub>	4501	4057	3233
Bağırsak	V <sub>20</sub>	2612	2310	2274
	D <sub>ortalama</sub>	3079	2553	2548

**Tablo 3.** TPS ve TLD doz ölçümlerinin istatistiksel karşılaştırması

Konum		FIF/ 5 A	FIF/ 7 A	5 A/ 7 A
Sağ meme	Sol	0.059	<b>0.000*</b>	<b>0.002*</b>
	Sağ	<b>0.000*</b>	<b>0.008*</b>	<b>0.030*</b>
	Üst	<b>0.000*</b>	<b>0.000*</b>	<b>0.000*</b>
	Alt	<b>0.000*</b>	<b>0.000*</b>	<b>0.000*</b>
	Merkez	0.317	<b>0.000*</b>	<b>0.000*</b>
	Ortalama doz	<b>0.000*</b>	<b>0.000*</b>	<b>0.000*</b>
Sol meme	Sol	<b>0.000*</b>	<b>0.000*</b>	<b>0.000*</b>
	Sağ	<b>0.004*</b>	<b>0.000*</b>	<b>0.000*</b>
	Üst	<b>0.036*</b>	<b>0.001*</b>	<b>0.007*</b>
	Alt	<b>0.000*</b>	<b>0.000*</b>	<b>0.000*</b>
	Merkez	<b>0.008*</b>	<b>0.000*</b>	<b>0.000*</b>
	Ortalama doz	<b>0.000*</b>	<b>0.000*</b>	<b>0.000*</b>
Tiroid	Ortalama doz	<b>0.000*</b>	<b>0.000*</b>	<b>0.000*</b>

### 3.2. Tartışma

Radyoterapide modern tedavi tekniklerinin uygulanması, risk altındaki organların dozunu en aza indirirken, hedef hacimde yüksek dozlara çıkılmasına olanak sağlamıştır. Bu gelişmelere rağmen, radyoterapide alan dışı dozlarla ilgili kaygı devam etmektedir. Alan dışı dozdaki artış radyoterapiye bağlı ikincil kanser risklerinin artmasına neden olabilmektedir. Bu çalışmada insan benzeri Alderson rando fantom üzerinde sanal olarak oluşturulmuş, postoperatif evre II endometrium kanseri için FIF, 5A-YART ve 7A-YART tedavi tekniklerinin meme dokusunda oluşturdukları alan dışı dozlar TLD-100 ile ölçülmüş ve TPS’den gelen doz değerleri ile karşılaştırılmıştır. TLD’lerin hassasiyetinin yüksek ve kullanım skalasının geniş olması, düşük radyasyon dozlarını ölçebilmesi, yoğunluğunun doku yoğunluğuna eşdeğer olması, boyutlarının küçük olması ve ölçülen dozu uzun süre saklayabilmesi gibi avantajları vardır. Çalışmamızla birebir örtüşen makaleye literatürde rastlanamamıştır.

e-ISSN: 2148-2683

Cyriac ve ark. (13) Elektra marka Synergy platform medikal hızlandırıcı (Elekta, İngiltere) cihazının, Oncentra TPS kullanarak yaptıkları çalışmada, TPS’ in alan dışı doz doğruluğunu TLD kullanarak incelemişlerdir. Cyriac ve ark. hedef hacim kenarında TPS ve TLD ölçümleri arasında önemli bir fark bulunmadığı bildirmişlerdir. Ancak alan kenarından 2 cm’ den 7.5 cm’ ye kadar olan uzaklıklarda yaptıkları ölçümlerde, TPS ve TLD doz değerleri arasındaki farkın %10’ dan %60 kadar arttığını göstermişlerdir. Bizim çalışmamızda alan kenarından 18 cm uzaklıkta bulunan meme dokusu için TPS’ de 0 cGy bulunmuştur. Farklı tedavi tekniklerinde sağ meme için TLD ile ölçülen doz değerleri ortalaması FIF, 5A-YART ve 7A-YART tekniklerinde sırasıyla, 20.60±0.26 cGy, 23.32±0.16 cGy ve 27.11±0.28 cGy olarak bulunmuştur. Sol meme için ise TLD doz ölçümleri ortalaması FIF, 5A-YART ve 7A-YART tekniklerinde sırasıyla, 20.17±0.13 cGy, 22.35±0.18 cGy ve 26.13±0.10 cGy olarak ölçülmüştür.

Abdelaal ve ark. (14) radyoterapide dozimetrik ölçümler için sıklıkla tercih edilen Markus iyon odası dedektörünü kullanarak alan dışı dozun alan boyutu, derinlik ve uzaklık ile değişimini incelemişlerdir. Yapılan ölçümlerde farklı derinliklerde ve uzaklıklarda iyon odası ile doz saptanırken, aynı noktalarda TPS’in alan dışı doz hesaplamasında başarısız olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmamız Abdelaal ve ark. ile paralel sonuçlar vermiştir. Endometrium alan kenarından 23 cm uzaklıkta bulunan tiroid için TPS ortalama doz değeri 0 cGy iken TLD ile ortalama doz ölçümlerinde FIF, 5A-YART ve 7A-YART teknikleri için sırasıyla, 18.53±0.49 cGy, 11.20±0.70 cGy ve 11.10±0.12 cGy olarak bulunmuştur.

Majer ve ark. (15) yoğunluk ayarlı radyoterapi (YART) ve üç boyutlu konformal radyoterapi (3BKRT) beyin tümörünü simüle ederek antropomorfik pediatrik fantomlarda alan dışı organ dozlarını TLD ile ölçmüşlerdir. Majer ve ark. YART ve 3BKRT tedavi tekniklerini kullanarak yaptıkları çalışma sonucunda TPS tarafından hesaplanan alan dışı dozların her iki teknik için de eksik olduğunu göstermişlerdir. Bizim araştırmamızda TPS’ in alan dışı meme hacimleri için 0 cGy doz hesaplamasına rağmen TLD ölçümlerinde üç farklı teknik için de her iki meme ve tiroidin aslında doz aldığı bulunmuştur.

Sungkoo ve ark. (16) radyoterapi sonrası ikincil kanser riskinin önemli bir konu haline geldiğini belirterek, 3BKRT ve YART tedavi teknikleriyle kanser hastalarının ortalama hayatta kalma süresinin arttığını ve ikincil kanser riskinin önemini aynı şekilde arttığını ifade etmişlerdir. 6 ve 10 MV enerjili X-ışını kullanarak yaptıkları prostat radyoterapi ölçümlerinde, fraksiyon dozu 2 Gy için meme dozunu 0,7 cGy - 0,9 cGy aralığında bulmuşlardır. 1.8 Gy fraksiyon dozu ile yapılan endometrium ışınlanması için ortalama TLD ölçümleri sağ memede 0.8 cGy – 1.08 cGy aralığında, sol memede 0.80 cGy – 1.05 cGy aralığında ölçülmüştür.

Jia ve ark. (17) serviks kanseri için IMRT tekniği ile 6-MV enerji ile insan benzeri bir fantomu ışınlarken iyonizasyon odasını kullanarak meme dokusu dozunu ölçmüşlerdir. Toplam meme dozunu 22,6 cGy olarak bulmuş olup sonuçlar çalışmamızla uyumludur.

### 4. Sonuç

Jinekolojik kanser grubunda başlıca endometrium, serviks ve over kanserleri yer alır. Bu kanserler arasında en sık

endometrium kanseri görülmektedir. Endometrium kanseri radyoterapisinde en uygun tedavi tekniği seçilirken alan dışı dozlar dikkat edilmelidir. Ayrıca TPS' in alan kenarından uzaklaştıkça dozları doğru tahmin etmede yetersiz kaldığı göz önünde bulundurulmalıdır.

## **Kaynakça**

Hanna, T.P., Delaney, G.P. & Barton M.B. (2016). The population benefit of radiotherapy for gynaecological cancer: Local control and survival estimates. *Radiotherapy and Oncology*, 120(3), 370-377.

Aras, S. (2021). Effect of Flattening Filter and Flattening Filter Free beams on radiotherapy-induced peripheral blood cell damage. *Radiat Phys Chem*, 182.

Krishnan, J., Shetty, J., Rao, S., Hegde, S. & Shambhavi, C. (2017). Comparison of Rapid Arc and Intensity-modulated Radiotherapy Plans Using Unified Dosimetry Index and the Impact of Conformity Index on Unified Dosimetry Index Evaluation. *Journal of Medical Physics*, 42(1), 14-17.

Ardenfors, O., Dasu, A., Lillhok, J., Persson, L. & Gudowska I. (2018). Out-of-field doses from secondary radiation produced in proton therapy and the associated risk of radiation-induced cancer from a brain tumor treatment. *Phys Medica*, 53, 129-36.

Huang, J.Y., Followill, D.S., Wang, X.A. & Kry, S.F. (2013). Accuracy and sources of error of out-of field dose calculations by a commercial treatment planning system for intensity-modulated radiation therapy treatments. *Journal of Applied Clinical Medical Physics*, 14(2), 186-97.

Stern, R.L. (1999). Peripheral dose from a linear accelerator equipped with multileaf collimation. *Medical Physics*, 26(4), 559-63.

Kim, D.W., Chung, K., Chung, W.K., Bae, S.H., Shin, D.O., & Hong, S. et al. (2014). Risk of secondary cancers from scattered radiation during intensity-modulated radiotherapies for hepatocellular carcinoma. *Radiat Oncol*, 9.

Garrett, L., Hardcastle, N., Yeo, A., Lonski, P., Franich, R. & Kron, T. (2021). Out-of-field dose in stereotactic radiotherapy for paediatric patients. *Phys Imag Radiat Onc*, 19, 1-5.

Joosten, A., Bochud, F., Baechler, S., Levi, F., Mirimanoff, R.O. & Moeckli R. (2011). Variability of a peripheral dose among various linac geometries for second cancer risk assessment. *Phys Med Biol*, 56(16), 5131-51.

Aras, S., Tanzer, I.O., Can, U., Sumer, E. & Baydili, K.N. (2021). The role of melatonin on acute thyroid damage induced by high dose rate X-ray in head and neck radiotherapy. *Radiat Phys Chem*, 179.

Toossi, M.T.B., Soleymanifard, S., Farhood, B., Mohebbi, S. & Davenport, D. (2018). Assessment of accuracy of out-of-field dose calculations by TiGRT treatment planning system in radiotherapy. *J Cancer Res Ther*, 14(3), 634-9.

Gregoire, V. & Mackie, T.R. (2011). State of the art on dose prescription, reporting and recording in Intensity-Modulated Radiation Therapy (ICRU report No. 83). *Cancer Radiother*. 15(6-7), 555-9.

Cyriac, T.S., Musthafa, M.M., Raman, R.G., Haneefa, K.A. & Bhasi S. (2015). Out-of-field photon dosimetry study between 3-D conformal and intensity modulated radiation therapy in the management of prostate cancer. *Int J Radiat Res*, 13(2), 127-34.

Bayatiani, M.R., Fallahi, F., Aliasgharzadeh, A., Ghorbani, M., Khajetash, B. & Seif F. (2020). Determination of effective source to surface distance and cutout factor in small fields in electron beam radiotherapy: A comparison of different dosimeters. *Pol J Med Phys Eng*, 26(4), 235-42.

Hauri, P. & Schneider, U. (2019). Whole-body dose equivalent including neutrons is similar for 6 MV and 15 MV IMRT, VMAT, and 3D conformal radiotherapy. *Journal of Applied Clinical Medical Physics*, 20(3), 56-70.

Zhang, Q.B., Liu, J.B., Ao, N.J., Yu, H., Peng, Y.Y. & Ou L.Y. et al. (2020). Secondary cancer risk after radiation therapy for breast cancer with different radiotherapy techniques. *Sci Rep-Uk*, 10(1).

Jia, M.X., Zhang, X., Yin, C., Feng, G., Li, N. & Gao, S. (2014). Peripheral dose measurements in cervical cancer radiotherapy: a comparison of volumetric modulated arc therapy and step-and-shoot IMRT techniques. *Radiat Oncol*, 9:61.



# ABD Konteyner Limanlarının Toplam Faktör Verimliliklerinin Karşılaştırılması

Erdoğan Koç<sup>1\*</sup>, Beste Desticioğlu<sup>2</sup>, Ahmed İhsan Şimşek<sup>3</sup>

<sup>1\*</sup> Bingöl Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İşletme Bölümü, Bingöl, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-8209-5714), ekoc@bingol.edu.tr

<sup>2</sup> Milli Savunma Üniversitesi, Alparslan Savunma Bilimler Enstitüsü, Harekât Araştırması Anabilim Dalı, Ankara, Türkiye (ORCID: 0000-0001-8321-4554), bdesticioğlu@kko.msu.edu.tr

<sup>3</sup> Fırat Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İşletme Bölümü, Elazığ, Türkiye (ORCID: 0000-0002-2900-3032), aisimsek@firat.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 8 Eylül 2021 ve Kabul Tarihi 30 Kasım 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.992850)

**ATIF/REFERENCE:** Koç, E., Desticioğlu, B., & Şimşek, A. İ. (2021). ABD Konteyner Limanlarının Toplam Faktör Verimliliklerinin Karşılaştırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (27), 823-831.

## Öz

Küreselleşen dünyada, artan nüfus ile beraber tüketimin artması, uluslararası ticaret üzerinde de artışa sebep olmaktadır. Uluslararası ticaretin etkisiyle beraber denizyolu taşımacılığının da önemi giderek artmaktadır. Denizyolu taşımacılığının en önemli bölümünü ise konteyner taşımacılığı oluşturmaktadır. Konteyner taşımacılığının daha etkin bir şekilde yapılmasını sağlayabilmek için limanların verimliliğini arttırmak gerekmektedir. Liman yönetimlerinde farklı ülkelerde farklı stratejiler uygulanmasına karşın, hepsinin ortak amacı limanlardaki etkinliğin ve verimliliğin artırılmasıdır. Bu çalışmada Amerika Birleşik Devletleri'nde yer alan konteyner limanlarının etkinlik durumları incelenmiştir. Çalışmada limanların verimliliğini belirleyebilmek için gerekli olan girdi ve çıktı değişkenleri belirlenmiş, devamında ise Hicks-Moorsteen ve Malmquist yöntemleri kullanılarak limanların verimlilikleri hesaplanmış ve etkinliği en yüksek olan limanlar belirlenmiştir. Ayrıca limanlardaki yıllara göre verimlilik değişimleri tespit edilmiştir. Hesaplamalar sonucunda elde edilen sonuçlar dikkate alınarak iki endeks karşılaştırılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde ise her iki yöntem sonucunda elde edilen verimlilik analizlerinde ciddi benzerlikler olduğu gözlemlenmiştir. Verimliliği düşük olan limanların ise etkinliğini arttırmak için yapılması gerekenler hakkında önerilerde bulunulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Konteyner Taşımacılığı, Konteyner Limanları, Verimlilik Analizi, Malmquist, Hicks-Moorsteen

## Comparison of Total Factor Productivity of US Container Ports

### Abstract

In the globalizing world, the increase in consumption along with the increasing population causes an increase in international trade. With the effect of international trade, the importance of maritime transport is increasing. Container transport is the most important part of maritime transport. It is necessary to increase the productivity of the ports in order to ensure that container transportation is carried out more effectively. Although different strategies are implemented in different countries in port management, the common goal of all of them is to increase the efficiency and productivity in the ports. In this study, the efficiency status of container ports in the United States was examined. In the study, the input and output variables required to determine the efficiency of the ports were determined, and then the efficiency of the ports was calculated using the Hicks-Moorsteen and Malmquist methods and the ports with the highest efficiency were determined. In addition, productivity changes in the ports according to the years were determined. Taking into account the results obtained as a result of the calculations, the two indices were compared. When the results are examined, it has been observed that there are serious similarities in the efficiency analyzes obtained as a result of both methods. Suggestions were made about what should be done to increase the efficiency of ports with low productivity.

**Keywords:** Container Shipping, Container Ports, Productivity Analysis, Malmquist, Hicks-Moorsteen.

\* Sorumlu Yazar: [ekoc@bingol.edu.tr](mailto:ekoc@bingol.edu.tr)

## 1. Giriş

Küresel dünyada uluslararası ticaretin giderek artmasıyla beraber uluslararası taşımacılık da önem kazanmaktadır. Denizyolu taşımacılığı, sanayide kullanılan büyük boyutlardaki hammaddeleri tek seferde taşıma imkânı sağlaması, sınır aşımının olmaması, diğer taşıma yöntemlerine göre daha güvenilir olması, mala zarar vermeden taşınabilmesi, ton/km başına tükettiği enerjinin daha düşük olması, çevreye daha az zarar vermesi, karayoluna göre 7, havayoluna göre 14 ve demiryoluna göre ise 3,5 kat daha ekonomik olması gibi avantajlar sağladığından dünyada en çok tercih edilen taşıma şeklidir (Çalışkan, 2015). Uluslararası taşımacılık ise büyük oranda denizyolu taşımacılığı ile gerçekleştirilmektedir. Dünya ticareti için taşınan yüklerin %90'dan fazlasının taşınmasında denizyolu taşımacılığı kullanılmaktadır. Konteyner taşımacılığı ise, denizyolu taşımacılık türleri arasında en çok tercih edilen taşıma şekli olarak karşımıza çıkmaktadır. 2019 yılında tüm limanlardaki toplam konteyner taşımacılığı önceki yıla göre %0,5'lik bir artış göstererek 811 milyon TEU (Twenty Foot Equivalent)'ya ulaşmıştır. Gelişmekte olan ülkelerde denizyolu ticareti ise 2019 yılı itibarıyla tüm denizyolu ticaretinin %65'ine ulaşmıştır (UNCTAD, 2020). Son yıllarda artan ticaret hacmiyle denizyolu taşımacılığı da yükselen bir trend içerisine girmiştir (Altın vd., 2017). Dünya denizcilik sektöründe meydana gelen büyümenin yanı sıra yaşanan krizler, ekonomik gelişmeler, rekabet artışı vb. nedenler limanlardan yapılan taşımacılık üzerinde etkili olabilmektedir. Aynı bölgelerde yer alan limanların birbiriyle rekabet edebilmeleri ancak limanların etkin kullanımı ile mümkün olmaktadır (Ateş ve Esmer, 2013). Denizyolu taşımacılığı, uluslararası ticarete, diğer taşıma yöntemlerine kıyasla çeşitli avantajlara sahip olduğundan dolayı günümüzde en çok tercih edilen taşıma yöntemlerindedir. Denizyolu taşımacılığının, diğer taşıma yöntemlerine kıyasla daha ekonomik olması, yüksek taşıma kapasitesine sahip olması, çevreci ve daha emniyetli olması diğer yöntemlere karşı avantaj sağlamaktadır (Ateş vd., 2011).

Limanlar, ticaret için ürünlerin yüklendiği ve indirildiği yerler olmasından dolayı denizyolu taşımacılığının en önemli halkasını meydana getirmektedir (Çetin ve Arabelen, 2012). Limanlar ülkelerin dış ticaretinde önemli bir etkiye sahip olmasının yanı sıra, ciddi bir ekonomik yatırım da gerektirir (Güner vd., 2014). Limanlar müşterilerinin taleplerini karşılayabilmek için, depolama, elleçleme ve operasyon yeteneklerini artırmaya çalışırken, müşterilerin beklentilerini gerçekleştirebilmek için ise verdikleri hizmetleri çeşitlendirmeye çalışırlar (Görçün, 2020). Denizyolu taşımacılığının kuru yük taşımacılığı, sıvı yük taşımacılığı, konteyner taşımacılığı gibi türleri bulunmakta olup, bunlardan en çok tercih edilen taşımacılık türü ise konteyner taşımacılığıdır. Denizyolu taşımacılığının yaklaşık %70'lik kısmını ise konteyner taşımacılığı oluşturmaktadır (Yüksekyıldız, 2021).

Günümüzde denizyolu taşımacılığındaki artan rekabet ile beraber limanların daha etkin kullanılması gerekmektedir. Denizyolu taşımacılığının en önemli bileşeni olan konteyner taşımacılığının da müşteri taleplerini karşılayabilmesi, konteyner limanlarının etkin ve verimli bir şekilde hizmet vermesiyle sağlanabilmektedir (Sağlam vd., 2018). Konteyner taşımacılığı tüm dünyada yaygın bir şekilde yapıldığından dolayı, hem liman bölgelerinin hem de devletlerin ekonomilerinde önemli bir paya sahip olmaktadır. Bu yüzden de konteyner limanlarının etkin bir şekilde işletilmesi gerekmektedir (Yüksekyıldız, 2021).

Konteyner limanlarının etkinliği yalnızca limanları işletenler için değil, gemi şirketleri, ulusal ve uluslararası yük taşımacıları, yük sahipleri için de önem taşımaktadır (Ateş ve Esmer, 2014).

ABD'de yer alan limanların verimsiz bir altyapıya sahip olması nedeniyle mevcut limanların verimliliğini artıracak çalışmalara önem verilmesini gerektirmektedir. Bu durum bilinmesine rağmen, söz konusu probleme yönelik yapılmış deneysel çalışmalar oldukça sınırlıdır. Bu alt yapı problemlerinin çözülebilmesi için büyük yatırımlar yapılması gerekmektedir. ABD limanlarında 1984-1997 yılları arasında yapılan reformlar ile, limanların verimliliği artırılmış, limanlar ticaret ve ulaşım açısından diğer limanlar ile rekabet edebilecek hale gelmiştir (Turner et al., 2004). Küresel ticaret gelişimini desteklemek ve diğer limanlara karşı rekabet edebilmek için, ABD liman yetkilileri, limanlarının verimliliklerini artırmak zorunda kalmıştır (Kaiser et al., 2006). Konteyner taşımacılığı, sahip olduğu özellikler nedeniyle, geleneksel taşıma yöntemlerine kıyasla teknolojik avantajlara sahip olduğundan süreçte kilit rol oynamaktadır. Konteyner taşımacılığının yaygınlaşmasıyla da limanların birbiriyle rekabet etmesi durumu ortaya çıkmakta ve bununla başa çıkabilmek için de limanların verimliliğinin artırılması gerekmektedir. Liman verimliliğinin artırılması, ABD limanlarının uluslararası rekabet gücüne önemli bir katkı sağlayacaktır.

Günümüzde liman yatırımları pahalı yatırımlar olmasının yanı sıra geri dönüş süresi de uzun olduğundan dolayı riskli yatırımlar arasında yer almaktadır. Bu yüzden de liman işletmeleri yatırım yapmış oldukları limanları en etkin şekilde kullanmak istemektedir. Limanların verimliliğini belirlemek, yalnızca o limanın işletmecisi için değil, diğer taraftan ulusal veya bölgesel liman taşımacılığı için de önemli bir konu haline gelmektedir (Çağlar ve Oral, 2011). Limanların verimliliği belirlenirken tek bir parametrenin kullanılması hatalı sonuçlara neden olabilir. Çünkü liman işletmeleri, farklı şekillerde yük taşımacılığı yapılan gemilere hizmet veren dinamik ve karmaşık bir yapıya sahiptir (Ateş ve Esmer, 2011). Bu amaçla limanların verimliliği üzerinde etki eden değişkenlerin belirlenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, U.S. Department of Transportation tarafından 1966 yılında kurulan Bureau of Transportation Statistics biriminin raporlarından elde edilen 2015-2018 yıllarına ait veriler kullanılarak Amerika Birleşik Devletleri'nde bulunan limanların verimlilikleri analiz edilmiştir. Çalışmada ilk olarak limanların verimliliğinin hesaplanmasında etkili olan girdi ve çıktı değişkenleri belirlenmiştir. Sonrasında ise Hicks-Moorsteen ve Malmquist yöntemleri kullanılarak Amerika Birleşik Devletleri'nde bulunan 22 konteyner limanının verimlilik değerleri belirlenmiştir. Yapılan verimlilik hesaplamalarında rıhtım uzunluğu, rıhtım derinliği, stoklama alanı ve vinç sayısı girdi değişkeni olarak, elleçlenen konteyner sayısı ise çıktı değişkeni olarak alınmıştır. Devamında ise verimliliği düşük limanların etkinliğini artırabilmek için yapılması gereken çalışmalar hakkında bilgi verilmiştir.

## 2. Literatür

Liman etkinliklerine dair ilk çalışma Roll ve Hayuth (1993) tarafından yapılmıştır. Araştırmacılar Veri Zarflama Analizi (VZA) yöntemini kullanarak limanların etkinliklerini belirlemişlerdir. Çalışmada girdi değişkeni olarak işgücü, sermaye ve yük karakteristiği alınmış olup, çıktı değişkenleri ise yük miktarı, hizmet düzeyi, müşteri memnuniyeti ve gemi sayısı olarak belirlenmiştir. Sonraki yıllarda da araştırmacılar bu konu üzerine odaklanmış olup, farklı bölge, ülke veya kıtalarda yer

alan limanların etkinliklerini belirleyecek çalışmalar yapmışlardır. Araştırmada, geçmiş çalışmalarda dikkate alınan girdi ve çıktı değişkenleri ile verimliliğin hesaplanmasında kullanılan yöntemlere yer verilmiştir.

Literatür incelendiğinde limanların verimliliklerinin ölçümünde farklı girdi ve çıktı değişkenlerinin yanı sıra farklı verimlilik ölçüm yöntemlerinin de kullanıldığı gözlemlenmiştir. İlgili yazında en sık kullanılan verimlilik ölçüm yönteminin veri zarflama analizi (VZA) olduğu görülmektedir. Örneğin; Niavis ve Tsekeris (2012), Bichou (2013), Schoyen ve Odeck (2013); Güner (2014), Rajasekar ve Deo (2014), Button ve Kramberger (2015), Nguyena vd. (2016), Altın vd. (2017), Ropero vd. (2019) VZA yöntemini tek başına uygulamıştır. Yapılan literatür araştırmasında VZA yönteminin yanı sıra stokastik sınır analizi (SSA) (Sarreira, 2013; Barros, 2016) ve Malmquist Luenberger Verimlilik Endeksinin (Wu et. al, 2016) kullanıldığı gözlemlenmiştir. Bunun yanı sıra literatürde VZA yöntemi ile diğer yöntemleri birleştiren çalışmalara da rastlanmıştır. Ateş ve Esmer (2013), Baran ve Gorecka (2015) ve Wang et. al (2021) VZA ile Malmquist Verimlilik Endeksi yöntemlerini bir arada kullanmıştır. Ateş ve Esmer (2014) ve Akgül vd. (2015) çalışmalarında SSA yöntemi ile VZA yönteminden faydalanmıştır. Yapılan literatür araştırmasında limanların verimlilikleri ölçülürken kullanılan girdi ve çıktı değişkenlerinin farklılık gösterdiği belirlenmiştir. Buna göre literatürde rihtim uzunluğu (Niavis ve Tsekeris, 2012; Ateş ve Esmer, 2013; Ateş vd. 2013; Yuen vd., 2013; Schoyen ve Odeck, 2013; Sarriera vd., 2013; Güner vd., 2014; Ateş ve Esmer, 2014; Rajasekar ve Deo, 2014; Baran ve Gorecka, 2015; Button ve Kramberger, 2015; Akgül vd., 2015; Nguyena vd., 2016; Barros vd., 2016; Wu et al., 2016; Altın vd., 2017; Acer ve Timor, 2017; Ropero vd., 2019; Görçün, 2019; Yüksek yıldız ve Tunçel, 2020; Yüksek yıldız, 2021), konteyner stok alanı (Ateş ve Esmer, 2013; Ateş vd., 2013; Bichou, 2013; Yuen vd., 2013; Schoyen ve Odeck, 2013; Sarriera vd., 2013; Güner vd., 2014; Ateş ve Esmer, 2014; Rajasekar ve Deo, 2014; Baran ve Gorecka, 2015; Button ve Kramberger, 2015; Akgül vd., 2015; Nguyena vd., 2016; Barros vd., 2016; Wu et al., 2016; Altın vd., 2017; Acer ve Timor, 2017; Ropero vd., 2019) ve draft (Ateş ve Esmer, 2013; Ateş vd., 2013; Bichou, 2013; Ateş ve Esmer, 2014; Button ve Kramberger, 2015; Akgül vd. 2015; Görçün, 2019 ve Yüksek yıldız, 2021) en sık kullanılan girdi değişkenleri olarak gözlemlenmiştir. Ayrıca literatürde kreyn sayısı (Yuen vd., 2013; Schoyen ve Odeck, 2013) ve rihtim derinliği de (Altın vd., 2017) girdi değişkeni olarak kullanılmıştır. Çıktı değişkeni olarak ise literatürde birçok çalışmada (Bichou, 2013; Yuen vd. 2013; Schoyen ve Odeck, 2013; Sarreira vd., 2013; Ateş ve Esmer, 2014; Baran ve Gorecka, 2015; Akgül vd., 2015; Nguyena vd., 2016; Wu vd., 2016; Altın vd., 2017; Yüksek yıldız ve Tunçel, 2020; Yüksek yıldız, 2021) elleçlenen konteyner miktarı değişkeninin kullanıldığı gözlemlenmiştir. Elleçlenen konteyner miktarının yanı sıra gelir ve kâr (Wang et. al 2021), hizmet alan gemi sayısı (Ropero vd., 2019; Görçün, 2019) ve toplam maliyet (Barros vd., 2016) değişkenlerinin de çıktı değişkeni olarak kullanıldığı çalışmalar literatürde yer almaktadır.

### 3. Yöntem

Limanların toplam faktör verimliliğinin hesaplanması üzerine yapılan çalışmalarda Hicks-Moorsteen (Medal-Bartual, Molinos-Senante ve Sala Garrido, 2016; Song ve Liu, 2020) ve Malmquist (Estache, Fe & Trujillo, 2004; Cheon, Dowall ve Song, 2010; Nunez-Sanchez ve Coto-Millan, 2012) endekslerinin kullanıldığı görülmektedir. Ancak yapılan literatür taramasında Hicks-Moorsteen ve Malmquist endeksleri ile elde edilen sonuçların karşılaştırıldığı bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Toplam faktör verimliliğinin (TFP) ölçülmesi amacıyla farklı alanlarda yapılan çalışmalarda Malmquist endeksinin sıklıkla kullanıldığı fark edilmektedir. Bununla birlikte Malmquist endeksine son dönemde getirilen eleştiriler de dikkate alınarak bu çalışmada Malmquist endeksi ve Hicks-Moorsteen endeksi ile ulaşılan TFP ve bileşenlerine ait değerler sunulmaktadır. Liman verimliliği alanındaki literatürde iki yöntemin karşılaştırmasının yapıldığı ilk çalışma olması nedeniyle ilgili yazına katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Hicks-Moorsteen endeksi, Malmquist endeksi temelinde geliştirilen bir yöntem olduğu için iki yöntemin kullandığı ortak eşitlikler bulunmaktadır. Bu eşitlikler aşağıda paylaşılmıştır. Yöntemlerin birbirlerinden farklılaştığı eşitlikler ise her yöntemin açıklandığı alt başlıkta paylaşılmıştır. Eşitliklerde kullanılan  $x_{it}$ ,  $i$  limanının  $t$  zamandaki girdi miktarına ilişkin vektörü ve  $q_{it}$  ise çıktı miktarına ilişkin vektörü ifade etmektedir.  $D_0$  ve  $D_1$  Shephard çıktı ve girdi uzaklık fonksiyonunu belirtmekte olup Eşitlik 1 ve Eşitlik 2 ile gösterilmiştir (Dakpo vd., 2019):

$$D_t^1(x, q) = \text{Sup}_{\theta > 0} \left[ \left( \frac{x}{\theta}, q \right) \in \Psi_t \right] \quad (1)$$

$$D_0^t(x, q) = \text{Inf}_{\phi > 0} \left[ \left( x, \frac{q}{\phi} \right) \in \Psi_t \right] \quad (2)$$

O'Donnell'e göre bir  $i$  işletmesinin  $t$  dönemdeki TFP etkinliğini şu şekilde hesaplanmaktadır:

$$TFPE_{it} = \frac{TFP_{it}}{TFP_t^*} \quad (3)$$

Farklı çalışmaların girdi ya da çıktı odaklı tercihlerde buldukları görülmüştür. Çalışmada kullanılan girdi değişkenlerinin yıllar içerisinde değişiminin sabit olması nedeniyle çıktı odaklı yaklaşım tercih edilmiştir. Çıktı odaklı teknik etkinlik (OTE), ölçek etkinliği (OSE), karma etkinlik (OME) ve kalan çıktı odaklı ölçek etkinliğinin (ROSE) formülasyonu aşağıda belirtilmektedir. Çıktı odaklı teknik etkinlik, ölçek etkinliği ve karma etkinliğin kullanıldığı TFP etkinliği ise Eşitlik 4'te gösterilmektedir.

$$TFPE_t = OTE_t * OME_t * ROSE_t \quad (4)$$

$$OTE_{it} = \frac{Q_{it}/X_{it}}{Q_{it}/X_{it}} = \frac{Q_{it}}{Q_{it}} = D_o(x_{it}, q_{it}, t) \leq 1 \quad (5)$$

$$OSE_{it} = \frac{\bar{Q}_{it}/X_{it}}{\bar{Q}_{it}/\bar{X}_{it}} \leq 1 \quad (6)$$

$$OME_{it} = \frac{\bar{Q}_{it}/X_{it}}{\bar{Q}_{it}/\bar{X}_{it}} = \frac{\bar{Q}_{it}}{\bar{Q}_{it}} \leq 1 \quad (7)$$

$$ROSE_{it} = \frac{\hat{Q}_{it}/X_{it}}{TFP_{it}^*} \leq 1 \quad (8)$$

Eşitlik 5, girdileri sabit tutarken çıktılarının teknik verimliliğini artırarak TFP'nin ne kadar artırılabileceğini ölçmektedir. Çıktı karışımları değişiminin TFP'deki artışa ne ölçüde katkı sağladığı Eşitlik 7 ile bulunmaktadır (Asante ve Villano, 2019). Ölçekte gerçekleşen bir değişimin TFP üzerindeki etkisi Eşitlik 6 ve kalan çıktı odaklı ölçekte yaşanabilecek bir değişimin etkisi ise Eşitlik 8 ile hesaplanmaktadır.

### 3.1. Malmquist Toplam Faktör Verimlilik Endeksi

Verimlilik hesaplamalarında standart hale gelen ve en sık kullanılan yöntemlerden olan Malmquist verimlilik endeksi ilk kez Caves, Christensen ve Diewert (1982) tarafından kullanılmış ve tanıtılmıştır. Orijinal haline bakıldığında ise Malmquist endeksi, Malmquist (1953) tarafından kullanılan bir miktar endeksidir. Malmquist endeksi, temel ekonomik kararların ve faaliyetlerin verimlilik değişimindeki yansımalarını açıklamak için kullanılmaktadır (Bjurek, 1996). Girdi ve çıktı odaklı olarak hesaplanabilen Malmquist toplam faktör verimlilik endeksi, verimlilikte yaşanan değişimi; teknik ve teknolojik değişim ile ilişkilendirmektedir (Lorcu, 2010). Malmquist toplam faktör verimlilik endeksi hesaplama yöntemi O'Donnell (2011)'in ifade ettiği şekilde aşağıda sunulmuştur.

$$Q(q) = D_0(x_{hs}, q, t) \quad (9)$$

$$X(x) = D_1(x, q_{hs}, t) \quad (10)$$

$$TFP_{hs,it} = \left( \frac{D_0(x_{hs}, q_{it}, s) D_1(x_{hs}, q_{hs}, s)}{D_0(x_{hs}, q_{hs}, s) D_1(x_{it}, q_{hs}, s)} \right) \quad (11)$$

Malmquist endeksine göre toplam faktör verimliliği  $TFP_{hs,it}$  formülü ile Eşitlik 11'de gösterildiği gibi hesaplanmaktadır. Burada  $h$  ve  $i$  iki farklı limanı,  $s$  ve  $t$  ise iki ayrı zamanı temsil etmektedir.

### 3.2. Hicks-Moorsteen Toplam Faktör Verimlilik Endeksi

Malmquist endeksine getirilen eleştiriler sonrasında Bjurek (1996), Malmquist çıktı odaklı endeksin girdi odaklı endekse oranı olarak tanımlanan Hicks-Moorsteen endeksini alternatif bir yöntem olarak sunmuştur (Arjomandi vd., 2015; Aparicio, Lopez-Torrez & Santin, 2018). Malmquist endeksi ölçek teknolojisinin altında yatan sabit getiriler varsayımıyla ölçüldüğünde daha doğru sonuçlar vermektedir. Ayrıca Malmquist endeksi toplam çıktı ve girdi oranı olarak ölçülmüştüğü TFP ile hangi bileşenlerin zaman içerisinde değiştiği ve TFP değişikliğine yol açtığıyla hakkında bilgi vermemektedir. Geliştirilen Hicks-Moorsteen endeksi, Malmquist endeksinin yaptığı gibi girdi ya da çıktı odaklıktan sadece birini kabul etmek yerine çıktı miktarındaki değişimleri çıktı odaklı olarak girdi miktarındaki değişimleri ise girdi odaklı olarak tahmin etmektedir (Becerra-Peña & Santin, 2021).

$$Q(q) = [D_0(x_{hs}, q, s) D_0(x_{it}, q, t)]^{\frac{1}{2}} \quad (12)$$

$$X(x) = [D_1(x, q_{hs}, s) D_1(x, q_{it}, t)]^{\frac{1}{2}} \quad (13)$$

$$TFP_{hs,it} = \left( \frac{D_0(x_{hs}, q_{it}, s) D_1(x_{hs}, q_{hs}, s) D_0(x_{it}, q_{it}, s) D_1(x_{hs}, q_{it}, s)}{D_0(x_{hs}, q_{hs}, s) D_1(x_{it}, q_{hs}, s) D_0(x_{it}, q_{hs}, s) D_1(x_{it}, q_{it}, s)} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (14)$$

Hicks-Moorsteen endeksine göre toplam faktör verimliliği Eşitlik 14'te gösterildiği gibi hesaplanmaktadır.  $h$  ve  $i$  iki farklı limanı,  $s$  ve  $t$  ise iki ayrı zamanı ifade etmektedir.

### 3.3. Veri

Analiz ABD konteyner limanlarının 2015-2018 yılları arasındaki elde edilen girdi ve çıktı değişkenleri üzerinden gerçekleştirilmiştir. Çalışmada girdi değişkenleri olarak; rıhtım derinliği, rıhtım uzunluğu, konteyner stok alanı ve vinç sayısı kullanılmıştır. Denizyolu taşımacılığında konteyner taşımacılığın gelişmesiyle beraber, konteyner gemilerinin kapasitesinin artırılmasına ihtiyaç duyulmuştur. Konteyner gemilerinin kapasitesindeki artış ile rıhtım derinliğinin artırılmasını zorunlu

Tablo 1. Değişkenler ve Tanımlayıcı İstatistikler

Değişkenler	2015				2016			
	Ortalama	Std. Hata	En Büyük	En Küçük	Ortalama	Std. Hata	En Büyük	En Küçük
<b>Girdiler</b>								
Rıhtım Derinliği*	44,97	5,48	53	33	44,97	5,48	53	33
Rıhtım Uzunluğu*	10121,5	7925,9	32730	1850	10121,5	7925,9	32730	1850
Konteyner Stok Alanı**	538,45	466,5	1704	61	538,45	466,5	1704	61
Vinç Sayısı***	23,04	23,56	83	0	23,04	23,56	83	0
<b>Çıktılar</b>								
Elleçlenen Konteyner Sayısı****	2010202	2341856	8160458	141734	2038446	2373622	8856783	165095
<b>Değişkenler</b>								
<b>Girdiler</b>								
Rıhtım Derinliği*	44,97	5,48	53	33	44,97	5,48	53	33
Rıhtım Uzunluğu*	10121,5	7925,9	32730	1850	10121,5	7925,9	32730	1850
Konteyner Stok Alanı**	538,45	466,5	1704	61	538,45	466,5	1704	61
Vinç Sayısı***	23,04	23,56	83	0	23,04	23,56	83	0
<b>Çıktılar</b>								
Elleçlenen Konteyner Sayısı****	2192172	2554281	9343191	216683	2310564	2662849	9458749	200356

\*m, \*\*m2, \*\*\*adet, \*\*\*\*TEU/yıl

hale getirmektedir. Gemilerin kapasitesindeki artışlar ile birlikte gemilerin yüklerini yükleyip boşaltabilmesi veya limana yanaşabilmesi için rıhtım derinliğinde artış yapılmasını gerektirmektedir (Altın vd., 2017). Rıhtım uzunluğu, konteyner limanlarının verimliliğini hesaplamada yaygın olarak kullanılan girdi değişkenlerinden biridir. Konteyner

limanları, konteyner gemilerinin yüklerini güvenli bir şekilde yükleyip/boşaltabilmeleri için kara ile deniz arasındaki bağlantıyı oluşturan yapılar şeklinde tanımlanabilir (Ateş vd., 2013). Liman yatırımları riskli ve büyük maliyet gerektiren projelerdir. Bu yüzden de liman yöneticileri, limanların fiziksel özelliklerini arttırmak yerine, limanları nasıl daha

verimli hale getirebileceklerini araştırmaktadır (Altın vd., 2017). Konteyner stok alanları, konteyner gemilerinden limanlara indirilerek burada ürünler müşteriye teslim edilene kadar geçici olarak depolandığı yer şeklinde tanımlanabilir (Ateş vd., 2013). Konteyner taşımacılığı yaygınlaştıkça, limanlardaki konteyner stok alanı büyüklüğü de önem kazanmıştır. Konteyner stok alanları, limanların verimliliğinin hesaplanmasında önemli bir etkiye sahip girdi değişkenlerinden biridir. Konteyner limanında bulunan vinç sayısı ve bu vinçlerin yük elleçleme hızları liman verimliliği üzerinde önemli bir faktördür. Vinçlerin elleçleme hızındaki artışla beraber, limanlar, diğer limanlara karşı rekabet üstünlüğü sağlayacaktır. Limanların müşteriler tarafından daha çok tercih edilmesi de, limanın etkinliğini artıracaktır (Ateş ve Esmer, 2013). Çalışmada çıktı değişkenleri olarak ise elleçlenen konteyner sayısı kullanılmıştır. Elleçlenen Konteyner Sayısı, konteyner limanlarının etkinliklerinin belirlenmesinde en sık kullanılan çıktı değişkenidir. TEU, 20 feetlik bir konteyneri tanımlamak için kullanılan bir ölçü birimidir. Elleçlenen konteyner miktarı, gemiden yükleme/boşaltma yapılan konteyner miktarını göstermektedir. Bir yıl içerisinde elleçlenmiş olan konteyner sayısı, konteyner limanının verimliliğinin ve girdi değişkenlerinin ne kadar etkin kullanıldığının göstergesi olmaktadır (Altın vd., 2017). Çalışmada kullanılan veriler Bureau of Transportation Statistics veri tabanından elde edilmiştir. Ayrıca, çalışmaya dahil edilen girdi ve çıktı değişkenleri literatürde yapılan çalışmalarla uyum içerisindedir. 2015-2018 yılları arasında kullanılan girdi ve çıktı değişkenlerinin hepsinde sayısal artış olduğu verilerden anlaşılmaktadır. Tablo 1’de çalışmada kullanılan girdi ve çıktı değişkenlerine ilişkin diğer açıklayıcı istatistikler görülmektedir. Veriler O’Donnell (2011a)’ın geliştirmiş olduğu DPIN 3.0 programı aracılığıyla analiz edilmiştir.

#### 4. Bulgular

Elde edilen bulgular 2015-2018 yılları arasındaki yıllık değişimi gösterecek şekilde raporlanmıştır. İlk olarak Hicks-Moorsteen endeksi ile 2015-2018 yılları arasındaki TFP, technical efficiency (TEC), TFP efficiency (TFPE), output-oriented technical efficiency (OTE), output-oriented mix efficiency (OME) ve residual output-oriented scale efficiency (ROSE) değerlerinin değişimi paylaşılmıştır. TFP toplam faktör verimliliğindeki değişimi gösterirken TEC liman üretim teknik seviyesindeki değişimi belirtmektedir (Song ve Liu, 2020). OTE, üretim teknolojisinin uygulanma seviyesini ifade etmektedir. Liman yöneticilerinin daha iyi operasyonel uygulamalarda bulunmasıyla OTE’de artış yaşanabilir ve OTE’deki artışla birlikte TFP artışı yaşanması da muhtemeldir (Medal-Bartual vd., 2016). Teknik etkinliğin artırılmasına işletme stratejileriyle ilişkili güçlü reformlar da etki edebilir (Cheon vd., 2010). OME, belirlenmiş bir üretim teknolojisi ile üretilen çıktı kombinasyonunun optimum olup olmadığını araştırmaktadır (Song ve Liu, 2020). Farklı bir ifadeyle ise OME kapsamında girdileri sabit tutarak çıktı kombinasyonu üzerindeki kısıtlamaları gevşeterek TFP artışı sağlanabilir (O’Donnell, 2008). TFPE ise, Eşitlik 3’te gösterildiği üzere, incelenen limanın optimal girdi-çıkıtı oranının fiili girdi-çıkıtı oranına bölünmesiyle elde edilir. ROSE ise girdi kombinasyonu ile üretilen maksimum çıktı miktarından gerçekleşen sapmayı ifade etmektedir. Çalışmada uygulanan iki endeks sonuçları incelendiğinde TFP etkinliğinin değişiminde en büyük etkinin ROSE’ye ait olduğu

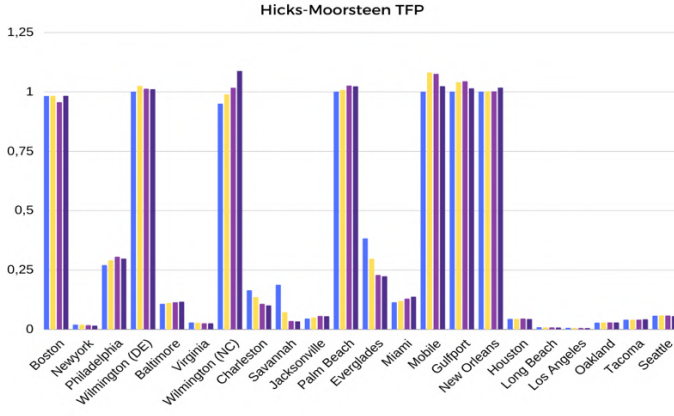
anlaşılmıştır. O’Donnell (2008) TFP’deki bir değişimin aslında ölçek etkisinden kaynaklandığını ve sınırsız bir üretim sınırı etrafındaki hareketlerin kısıtlandığı durumlarda artık ölçek etkisinden (residual scale effect) söz edilebileceğini ifade etmiştir. Sonrasında Hicks-Moorsteen endeksi ile 22 limana ait yıllık TFP değerleri ve 2018 yılına ait TFP, TEC, TFPE, OTE, OME ve ROSE değerleri gösterilmiştir. Endeksler arasında karşılaştırma yapabilmek için Malmquist endeksi kullanılarak 2015-2018 yılları arasındaki TFP, TEC, TFPE, OTE, OME ve ROSE değerlerinin değişimi hesaplanmış ve paylaşılmıştır. Ayrıca Malmquist endeksi ile 22 limana ait yıllık TFP değerleri ve 2018 yılına ait TFP, TEC, TFPE, OTE, OME ve ROSE değerleri gösterilmiştir.

Malmquist endeksinin teknolojinin ölçeğe göre sabit getiri (CRS) durumunda güvenilir sonuçlar ürettiği ifade edilmektedir (Coelli ve Rao, 2005; Ferreira ve Marques, 2016). Ayrıca ölçeğe göre sabit getiri altında Malmquist endeksi sonuçlarının Hicks-Moorsteen endeksi ile yüksek korelasyon göstermektedir (Kerstens, Hachem ve Woestyne, 2010). Bu nedenle çalışmada CRS varsayımı altında elde edilen Malmquist endeksi sonuçları paylaşılmıştır. Hicks-Moorsteen endeksi ise çarpımsal olarak toplanmış (multicaptively) endeksler içerisinde gösterilmektedir. Çarpımsal olarak toplanmış ifadesi endeksin bileşenlerine ayrılabilirliğini belirtmektedir. TFP değişikliğinin bileşenleri tanımlanabildiği takdirde politika önerisi geliştirilebilecektir (O’Donnell, 2008). Ek 2 ve 3’te yıllar arasındaki TFP ve bileşenleri değişimi her iki endeks sonuçlarının göre sunulmuştur. Tabloların yorumlamasında TFP ve diğer etkinlik ölçütlerinin yıllar arasındaki değişiminin 1’in üzerinde olması ilgili bileşendeki artışı 1’in altında olması ise azalışı ifade etmektedir. TEC’in yıllar arasındaki değişimine bakıldığında 1’in üzerinde olan değerler teknolojik ilerlemenin olduğunu göstermektedir (Medal-Bartual vd., 2016). Boston, Philadelphia ve Baltimore gibi bazı limanların ele alınan yıllar aralığında hep 1’den uzak değerler alışı bu limanların yeterli teknoloji yatırımında bulunması ile ilişkilendirilebilir.

2015-2016 yılları arasındaki TFP’de yaşanan en yüksek artış %5 ile Wilmington (NC), 2016-2017 yılları arasında %3 ile Houston ve 2017-2018 yılları arasında %5 ile Gulfport limanına aittir. Ek 1’de görüldüğü üzere 2015-2016 yılları arasındaki TFP’de yaşanan en yüksek azalış %12 ile Savannah, 2016-2017 yılları arasında %18 ile Gulfport ve 2017-2018 yılları arasında %5 ile Wilmington (NC) limanına aittir. 2015-2016 yılları arasındaki TFP etkinliğine etki eden bileşenler incelendiğinde en fazla etkinin ROSE’den geldiği anlaşılmaktadır. Bileşen değeri 1’den uzaklaşan liman sayısı OME’de 4, OTE’de 11 ve ROSE’de 19’dur.

Şekil 1’de ABD konteyner limanlarının 2015, 2016,2017 ve 2018 yılları Hicks-Moorsteen endeksine göre hesaplanmış toplam faktör verimliliği değişimleri görülmektedir. Mavi 2015, sarı 2016, mor 2017 ve lacivert 2018’i temsil etmektedir.





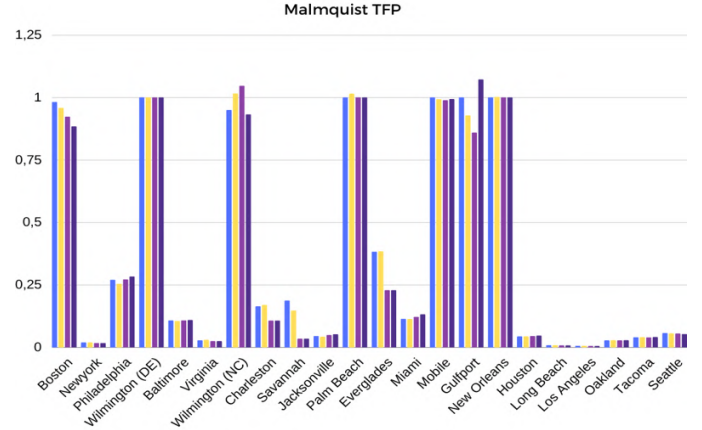
Şekil 1. ABD Konteyner Limanlarının 2015-2018 Yılları Arasındaki Hicks-Moorsteen TFP Endeks Değerleri

Tablo 2’de görülen 22 limana ait 2018 yılı Hicks-Moorsteen endeksi ile hesaplanmış TFP değerleri incelendiğinde en yüksek TFP değerine (1,0869) Wilmington (NC) limanının ve en düşük TFP değerine (0,0046) ise Los Angeles limanının sahip olduğu anlaşılmaktadır. OME’nin dört liman haricinde etkinlik sınırında olduğu görülmektedir. OTE değerlerine bakıldığında ise 0,0666 ile Los Angeles en düşük bileşen değerine sahiptir.

Tablo 2. 2018 Yılına ait Hicks-Moorsteen Endeks Değerleri

Liman	TFP	TFPE	OTE	OME	ROSE
Boston	0,9825	0,8995	1,0000	1,0000	0,8995
Newyork	0,0146	0,0985	0,1128	1,0000	0,8734
Philadelphia	0,2970	0,5111	0,5387	1,0000	0,9487
Wilmington (DE)	1,0100	0,9774	1,0000	1,0000	0,9774
Baltimore	0,1154	0,3230	0,3421	1,0007	0,9434
Virginia	0,0243	0,1558	0,1558	1,0427	0,9591
Wilmington (NC)	1,0869	0,8575	1,0000	1,0000	0,8575
Charleston	0,1003	0,2968	0,3067	1,0000	0,9677
Savannah	0,0333	0,1724	0,1781	1,0000	0,9677
Jacksonville	0,0540	0,2108	0,2228	1,0000	0,9460
Palm Beach	1,0223	0,9781	1,0000	1,0000	0,9781
Everglades	0,2232	0,4516	0,4667	1,0000	0,9677
Miami	0,1361	0,3574	0,3705	1,0000	0,9646
Mobile	1,0231	0,9705	1,0000	1,0000	0,9705
Gulfport	1,0139	0,9461	1,0000	1,0000	0,9461
New Orleans	1,0168	0,9834	1,0000	1,0000	0,9834
Houston	0,0427	0,1846	0,1991	1,0698	0,8670
Long Beach	0,0068	0,0782	0,0808	1,0000	0,9677
Los Angeles	0,0046	0,0644	0,0666	1,0000	0,9677
Oakland	0,0281	0,1636	0,1661	1,0003	0,9847
Tacoma	0,0412	0,2012	0,2049	1,0000	0,9821
Seattle	0,0545	0,2243	0,2330	1,0009	0,9617

2015-2016 yılları arasındaki TFP’de yaşanan en yüksek artış %6,9 ile Wilmington (NC), 2016-2017 yılları arasında %4 ile Wilmington (NC) ve 2017-2018 yılları arasında %7 ile Gulfport limanına aittir. Ek 3’ten görüldüğü üzere 2015-2016 yılları arasındaki TFP’de yaşanan en yüksek azalış %22 ile Savannah, 2016-2017 yılları arasında %15 ile Gulfport ve 2017-2018 yılları arasında %12 ile Jacksonville limanına aittir. Eşitlik 4 kapsamında 2015-2018 yılları arasındaki bileşen değerleri incelendiğinde TFP etkinliğine en fazla etki eden bileşenin ROSE olduğu elde edilen sonuçlardan anlaşılmaktadır.



Şekil 2. ABD Konteyner Limanlarının 2015-2018 Yılları Arasındaki Malmquist TFP Endeks Değerleri

Şekil 2’de ABD konteyner limanlarının 2015, 2016, 2017 ve 2018 yılları Malmquist endeksine göre hesaplanmış toplam faktör verimliliği değişimleri görülmektedir. Mavi 2015, sarı 2016, mor 2017 ve lacivert 2018’i temsil etmektedir. Tablo 3’te görülen 22 limana ait 2018 yılı Malmquist endeksi ile hesaplanmış TFP değerleri incelendiğinde en yüksek TFP değerine (1,0717) Gulfport limanının ve en düşük TFP değerine (0,0047) ise Los Angeles limanının sahip olduğu anlaşılmaktadır.

Tablo 3. 2018 Yılına ait Malmquist Endeks Değerleri

Liman	TFP	TFPE	OTE	OME	ROSE
Boston	0,8838	0,9312	1,0000	1,0000	0,9312
Newyork	0,0167	0,1128	0,1128	1,0000	1,0000
Philadelphia	0,2830	0,4871	0,5387	1,0000	0,9042
Wilmington (DE)	1,0000	0,9677	1,0000	1,0000	0,9677
Baltimore	0,1089	0,3297	0,3421	1,0007	0,9632
Virginia	0,0243	0,1558	0,1558	1,0427	0,9591
Wilmington (NC)	0,9320	0,9401	1,0000	1,0000	0,9401
Charleston	0,1070	0,3165	0,3067	1,0000	1,0319
Savannah	0,0349	0,1808	0,1781	1,0000	1,0150
Jacksonville	0,0516	0,2013	0,2228	1,0000	0,9037
Palm Beach	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
Everglades	0,2287	0,4628	0,4667	1,0000	0,9917
Miami	0,1313	0,3643	0,3705	1,0000	0,9834
Mobile	0,9930	0,9964	1,0000	1,0000	0,9964
Gulfport	1,0717	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
New Orleans	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
Houston	0,0461	0,1991	0,1991	1,0698	0,9348
Long Beach	0,0071	0,0817	0,0808	1,0000	1,0105
Los Angeles	0,0047	0,0667	0,0666	1,0000	1,0012
Oakland	0,0276	0,1644	0,1661	1,0003	0,9899
Tacoma	0,0405	0,2030	0,2049	1,0000	0,9908
Seattle	0,0524	0,2289	0,2330	1,0009	0,9814

ABD konteyner limanlarının Hicks-Moorsteen ve Malmquist endeksleri ile elde edilen TFP değerlerinin birbirine yakın değerler olduğu görülmektedir. Şekil 1 ve Şekil 2 dikkatle incelendiğinde Boston, Wilmington (DE), Wilmington (NC), Palm Beach, Mobile, Gulfport ve New Orleans limanlarının her iki endekste etkinlik sınırı olan 1’e yakın değerlere sahip olduğu anlaşılmaktadır. 2015-2018 yılları arasındaki TFP değişimi incelendiğinde de her iki endeks 2015-2016 ve 2017-2018 yılları arasındaki en yüksek artışın yaşandığı limanları Wilmington (NC) ve Gulfport olarak göstermektedir. Ayrıca her iki endeks 2015-2016 ve 2016-2017 yılları arasında TFP’deki en yüksek azalışa

sırasıyla Savannah ve Gulfport limanının sahip olduğunu ifade etmektedir.

OTE değeri 1 ise limanın görece etkin olarak kabul edilebilir çünkü bu değer üretim sınırına yakın olduğu anlamına gelir. 1'in altında bir değer ise limanın etkin olmadığına işaret etmektedir. OTE değerinin 1'e yakın değerler aldığı durumlarda OME ve ROSE'deki değişiklikler de limanın etkin olmamasına neden olabilir (Medal-Bartual, 2016). Hicks-Moorsteen ve Malmquist endeksleri ile hesaplanan 2018 yılı değerleri incelendiğinde OTE değerlerinin aynı olduğu görülmektedir. OTE değerlerine bakıldığında 0,0666 ile en düşük değere sahip olan Los Angeles limanı Hicks-Moorsteen endeksi ile hesaplanan en düşük TFP değerine sahiptir. Ayrıca Los Angeles limanı aynı OTE değeri ile Malmquist endeksi ile hesaplanan en düşük TFP değerine sahiptir. OTE'nin 1'e yakın olduğu durumlarda ise ROSE'nin OME'den daha fazla etkili olduğu anlaşılmaktadır. Her iki endeks sonuçları incelendiğinde OME'nin 1 değerinden uzaklaştığı sadece dört liman bulunmaktadır.

## 5. Sonuç

Küreselleşmenin getirdiği avantajlar, artan dünya nüfusu ve buna paralel olarak tüketimin artması gibi sebepler uluslararası ticaretin artmasına neden olmuştur. Uluslararası ticaretin artması ise özellikle tek seferde daha fazla miktarda ürünün taşınmasına imkân vermesi, diğer taşıma yöntemlerine göre daha ucuz olması, çevreye daha az zarar vermesi ve daha güvenilir oluşu gibi avantajları nedeniyle deniz yolu taşımacılığının da öneminin artmasına neden olmaktadır. Limanların yatırım maliyetlerinin ve buna bağlı olarak yatırımın geri dönüş süresinin de yüksek olması nedeniyle hali hazırda bulunan limanların verimliliğinin artırılması önem arz etmektedir.

Çalışmamızda Amerika Birleşik Devletleri'nde yer alan konteyner limanların 2015-2018 yılları arasındaki verileri kullanarak verimlilikleri incelenmiştir. Bu çalışmada verimlilik ölçümlerinin yapılabilmesi için öncelikle girdi ve çıktı değişkenleri belirlenmiştir. Buna göre girdi değişkeni olarak literatürde de kullanılan rıhtım derinliği (Altın vd., 2017), rıhtım uzunluğu (Niavis ve Tsekeris, 2012; Yüksek yıldız, 2021), konteyner stok alanı (Ateş ve Esmer, 2013; Yüksek yıldız, 2021) ve vinç sayısı (Niavis ve Tsekeris, 2012; Ropero vd., 2019) kullanılmıştır. Çıktı değişkeni olarak ise literatürde birçok çalışmada (Wu vd., 2016; Altın vd., 2017; Yüksek yıldız ve Tunçel, 2020; Yüksek yıldız, 2021) kullanılan elleçlenen konteyner miktarı kullanılmıştır.

Amerika Birleşik Devletleri'ndeki limanların verimsizliği son yıllarda bilinen bir durum olmasına rağmen bu konuda yapılan çalışmaların sınırlı olduğu gözlemlenmiştir. Amerika Birleşik Devletleri'ndeki limanlara yönelik olarak 20. Yüzyılın son döneminde çeşitli iyileştirme çalışmaları ve reformlar yapılmış ve söz konusu limanların verimliliği artırılmıştır. Bu çalışmada Amerika Birleşik Devletleri'nde yer alan 22 tane konteyner limanının 2015-2018 yılları arasındaki verimlilikleri incelenmiştir. Bu limanların verimliliklerinin ölçülmesi için girdi ve çıktı değişkenleri belirlendikten sonra bu değişkenlere göre veri seti elde edilmiştir. Elde edilen veri seti kullanılarak Hicks-Moorsteen ve Malmquist yöntemleri ile 22 limanın verimlilikleri belirlenmiştir. Her ne kadar limanların toplam faktör verimliliğinin hesaplanması üzerine

yapılan çalışmalarda Hicks-Moorsteen (Medal-Bartual, Molinos-Senante ve Sala Garrido, 2016; Song ve Liu, 2020) ve Malmquist (Estache, Fe & Trujillo, 2004; Cheon, Dowall ve Song, 2010; Nunez-Sanchez ve Coto-Millan, 2012, Wu vd.; 2016) endekslerinin kullanıldığı görülse de bu iki endeksin birlikte kullanıldığı bir çalışmaya yapılan literatür araştırması sonucunda rastlanmamıştır.

Ayrıca elde edilen sonuçlar dikkate alınarak iki endeks karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmaya göre ABD'de bulunan 22 konteyner limanının 2015-2018 verimlilik değerleri incelendiğinde Hicks-Moorsteen ve Malmquist endeksleri ile elde edilen TFP değerlerinin birbirleri ile benzerlik gösterdiği gözlemlenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde Boston, Wilmington (DE), Wilmington (NC), Palm Beach, Mobile, Gulfport ve New Orleans limanlarının verimlilik değerlerinin her iki yöntemde de 1'e yakın olduğu görülmektedir. Yine benzer şekilde her iki endekse göre de 2015-2016 yılları arasında en yüksek verimlilik artışının Wilmington (NC) ve 2017-2018 yılları arasında ise en yüksek verimlilik artışının Gulfport limanında olduğu görülmüştür. Bunun yanı sıra her iki endekste de 2015-2016 yılları arasında en yüksek verimlilik azalışının Savannah ve 2016-2017 yılları arasında ise en yüksek verimlilik azalışının Gulfport limanında olduğunu göstermiştir. 2018 yılına ait değerler incelendiğinde her iki endeksin OTE değerlerinin aynı olduğu göze çarpmaktadır. OTE değerleri incelendiğinde her iki endekse göre de Los Angeles limanının hesaplanan en düşük TFP değerine sahip olduğu görülmektedir.

Küresel ticaret hacminin artması ile birlikte konteyner limanlarının önemi ve limanlar arasındaki rekabet artmıştır. Ayrıca yüksek yatırım maliyetleri nedeniyle mevcut limanların verimliliğinin artırılması önemli bir hal almıştır. Limanların verimliliğinin artırılması için farklı çözümler geliştirilebilir. Örneğin Akyürek (2017) yaptığı çalışmada farklı yükleri elleçleyebilme kapasitesine sahip limanların verimliliğinin daha yüksek olduğunu göstermiştir. Yine aynı çalışmada demiryolu bağlantısına sahip olan limanların daha yüksek verimliliğe sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmadan yola çıkarak mevcut limanların farklı yükleri elleçleyebilmesi için çalışmalar yapılması ve limanlara demiryolu bağlantılarının eklenmesi liman verimliliğini artıracaktır. Ayrıca limanlarda akıllı teknolojilerin kullanılması da liman verimliliğini artıracaktır. Endüstri 4.0 ile bağlantılı olarak limanların da değişen ve gelişen teknolojiye ayak uydurması ve IOT gibi teknolojilerin entegre edilmesi liman operasyonlarının optimizasyonu ve esnekliği açısından önem taşımaktadır. Örneğin akıllı konteynerler ile bağlantı kurularak gemilerin konum bilgilerinin limana aktarılması gemi yanaşmadan gerekli hazırlıkların yapılarak zaman tasarrufu sağlayacaktır. Yine akıllı limanlar sayesinde paydaşlar yüklerin son durumunu, yükleme için uygun olup olmadığını henüz yükleme başlamadan tespit edebilir ve gerekli önlemleri alabilir. Bu da daha az hata ile liman operasyonlarının yürütülmesini sağlayacaktır. Ayrıca limanlarda yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması da mevcut limanların verimliliğini artıracaktır.

Malmquist ve Hicks-Moorsteen endeksleri ile yapılan verimlilik hesaplamaları incelendiğinde her iki yöntem ile elde edilen sonuçların birbirine çok yakın olduğu gözlemlenmiştir. Bu çalışma Malmquist ve Hicks-Moorsteen endekslerini birlikte kullanan ilk çalışma olması nedeniyle ilgili literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Ayrıca gelecek

çalışmalarda verilerin kullanıldığı zaman aralığının genişletilmesi daha sağlıklı verimlilik analizlerinin yapılmasını sağlayacaktır. Bunun yanı sıra çalışmada kullanılan girdi ve çıktı değişkenlerinin belirlenmesinde çok kriterli karar verme yöntemleri kullanılarak çalışma zenginleştirilebilir. Bu çalışmada sadece Amerika Birleşik Devletleri'nde bulunan konteyner limanları çalışmaya dahil edilmiştir. Farklı ülke ve bölgelerdeki limanlar çalışmaya dahil edilerek daha kapsamlı bir uygulama yapılabilir.

## Kaynakça

- Acer, A. ve Timor, M. (2017), Kümeleme ve Veri Zarflama Analizi (VZA) İle Konteyner Terminal Etkinliklerinin Belirlenmesi, *Alphanumeric Journal*, 5 (2), 339-352.
- Akgül, E. F., Fışkın, C. S., Düzalın, B., Erdoğan, T. ve Çetin, Ç. K. (2015), Liman Rekabetçiliği ve Etkinlik: Türkiye'deki Konteyner Limanları Üzerine Bir Analiz, 2. *Ulusal Liman Kongresi*, İzmir.
- Akyürek, E. (2017). Türkiye Karadeniz Limanları Verimlilik Analizi. *Verimlilik Dergisi*, (4), 29-45. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/verimlilik/issue/31514/345305>
- Altın, F. G., Şahin, Y., Karaatlı, M., & Yıldız, Ö. (2017). Avrupa Birliği Ülkeleri Ve Türkiye'deki Limanların Etkinliklerinin Veri Zarflama Analizi İle Değerlendirilmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 22(1), 21-30.
- Aparicio, J., Lopez-Torres, L., & Santin, D. (2018). Economic crisis and public education. A productivity analysis using a Hicks-Moorsteen index. *Economic Modelling*, 71, 34-44.
- Asante, B. O., ve Villano, R. A. (2019). Components of Farm-Level Productivity in Integrated Crop-Livestock Farming Systems in Ghana: The Role of Mix Efficiency. *International Journal of Food and Agricultural Economics*. 7(1), 63-76.
- Ateş, A., & Esmer, S. (2011). Veri Zarflama Analizi ile Türkiye'deki Konteyner Terminallerinin Etkinlik Ölçümü, *12. Uluslararası Ekonometri, Yöneylem Araştırması ve İstatistik Sempozyumu*, 26-29.
- Ateş, A., Esmer, S., Çakır, E., & Balcı, K. (2013). Karadeniz konteyner terminallerinin göreceli etkinlik analizi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Denizcilik Fakültesi Dergisi*, 5(1), 1-22.
- Ateş, A. ve Esmer, S. (2014), Farklı Yöntemler ile Türk Konteyner Limanlarının Verimliliği, *Verimlilik Dergisi*, 1, 61-76.
- Baran, J. ve Gorecka, A. (2015). Seaport Efficiency and Productivity Based on Data Envelopment Analysis and Malmquist Productivity Index, *Logistics&Sustainable Transport*, 6(1), 25-33.
- Barros, C. P., Chen, Z., & Wanke, P. (2016). Efficiency in Chinese seaports: 2002–2012. *Maritime Economics & Logistics*, 18(3), 295-316.
- Becerra-Peña, D. & Santin, D. (2021) Measuring public primary education productivity across Mexican states using a Hicks-Moorsteen index, *Applied Economics*, 53:8, 924-939, DOI: 10.1080/00036846.2020.1819951
- Bichou, K. (2013), An Empirical Study of The Impacts of Operating and Market Conditions on Container-Port Efficiency and Benchmarking, *Research in Transportation Economics*, 42 (1), 28-37.
- Bjurek, H. (1996). The Malmquist Total Factor Productivity Index, *Scandinavian Journal of Economics*, 98(2), 303-313.
- Button, K. ve Kramberger, T. (2015). European Union Expansion and Seaport Efficiency in The Adriatic, *Applied Economics Letters*, 22(9):700-703.
- Caves, D. W., Christensen, L. R. and Diewert, W. E. (1982). The economic theory of index numbers and the measurement of input, output, and productivity. *Econometrica*, 50 (6), 393-414.
- Cheon, S., Dowall, D. E., & Song, D. (2010). Evaluating impacts of institutional reforms on port efficiency changes: Ownership, corporate structure, and total factor productivity changes of world container ports, *Transportation Research Part E*, 46, 546-561.
- Coelli, T.J. and Rao, D.S.P. (2005). Total factor productivity growth in agriculture: a Malmquist index analysis of 93 countries, 1980–2000, *Agricultural Economics*, 32(s1), 115–134
- Çağlar, A. G. V. ve Oral, E. Z. (2011), Liman Verimlilik ve Etkinlik Ölçme Yöntemlerinin Analizi, 7. *Kıyı Mühendisliği Sempozyumu*, Trabzon, 665-676.
- Çalışkan, M. (2015). Limanlarımızın genel değerlendirilmesi. *Deniz Ticareti Dergisi Liman Eki*, 277(6), 20-21.
- Çetin, Ç. K., & Arabelen, G. (2012). Türkiye'de Limancılık Eğitimi Üzerine Bir Değerlendirme. *Dokuz Eylül Üniversitesi Denizcilik Fakültesi Dergisi*, 4(1), 75-81.
- Dakpo, K. H., Desjeux, Y., Jeanneaux, P. ve Latruffe, L. (2019). Productivity, Technical Efficiency and Technological Change in French Agriculture During 2002-2015: a Fare-Primont Index Decomposition Using Group Frontiers and Meta-Frontier, *Applied Economics*, 51(11), 1166-1182.
- Esmer, S. ve Ateş, A. (2013). VZA Malmquist Toplam Faktör Verimlilik Endeksi: 2009 Küresel Finans Krizinin Türk Konteyner Terminallerine Etkisi.
- Estache, A., de la Fe, B. T., & Trujillo, L. (2004). Sources of gains in port reform: a VZA decomposition of a Malmquist TFP index for Mexico, *Utilities Policy*, 12(4), 221-230.
- Ferreira, D. C. & Marques, R. C. (2016). Malmquist and Hicks-Moorsteen Productivity Indexes for Clusters Performance Evaluation. *International Journal of Information Technology & Decision Making*, 15(5), 1015-1053.
- Görçün, Ö. F. (2019). Entegre Entropi ve EATWOS yöntemleri kullanılarak karadeniz konteyner limanlarının verimlilik analizi. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 14(3), 811-830.
- Güner, S., Coşkun, E., & Taşkın, K. (2014). Liman özelleştirmelerinin operasyonel etkinlik üzerindeki etkisi:

- Türk limanları üzerinde dönemsel bir çalışma. *İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi*, 43(2), 218-236.
- Ha, M. H., & Yang, Z. (2017). Comparative analysis of port performance indicators: Independency and interdependency. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 103, 264-278.
- Kaiser, E., Pathomsiri, S., & Haghani, A. (2006). Developing measures of us ports productivity and performance: using VZA and fdh approaches (No. 1427-2016-118553).
- Kerstens, K., Hachem, B. A. M., & Wostyne, I. V. (2010). Malmquist and Hicks-Moorsteen Productivity Indices: An Empirical Comparison Focusing on Infeasibilities, *HUB Research Paper Economics & Management*, Brussels.
- Lorcu, F. (2010). Malmquist Toplam Faktör Verimlilik Endeksi: Türk Otomotiv Sanayi Uygulaması, *İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi*, 39(2), 276-289.
- Malmquist, S. (1953). Index numbers and indifference surfaces. *Trabajos de Estadística*, 29-42.
- Medal-Bartual, A., Molinos-Senante, M., & Sala-Garrido, R. (2016). Assessment of the Total Factor Productivity Change in the Spanish Ports: Hicks-Moorsteen Productivity Index Approach. *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, 142(1), 1-9.
- Nguyen, H.O., Nguyen, H.V., Chang, Y.T., Chin, A.T. & Tongzon, J.(2016). Measuring port efficiency using bootstrapped VZA: the case of Vietnamese ports. *Maritime Policy & Management*, 43(5), 644-659.
- Niavis S., Tsekeris T., (2012), Ranking and causes of inefficiency of container seaports in South-Eastern Europe, *Eur. Transp. Res. Rev.*, 4:235-244. doi: 10.1007/s12544-012-0080-y
- Nunez-Sanchez, R., & Coto-Millan, P. (2012). The impact of public reforms on the productivity of Spanish ports: A parametric distance function approach, *Transport Policy*, 24, 99-108.
- O'Donnell, C. J. (2008). Measuring and decomposing agricultural productivity and profitability change. *The Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*, 54, 527-560.
- O'Donnell, C. J. (2011). DPIN 3.0 a program for decomposing productivity index numbers. Centre for efficiency and productivity analysis. *University of Queensland*, Brisbane
- Rajasekar, T. & Deo, M. (2014), Does Size Influence the Operational Efficiency of the Major Ports of India? -A Study, *IUP Journal of Operations Management*, 13 (1), 20-39.
- Roll, Y. Ve Hayuth, Y. (1993), Port Performance Comparison Applying Data Envelopment Analysis (VZA), *Maritime Policy and Management*, 20 (2), 153-161.
- Ropero, A. G., Dominguez, I. T., & Jiménez, M. D. M. C. (2019). Bootstrapped operating efficiency in container ports: a case study in Spain and Portugal. *Industrial Management & Data Systems*.
- Sağlam, B. B., Açık, A. Ve Ertürk, E. (2018), Evaluation of Investment Impact on Port Efficiency: Berthing Time Difference as a Performance Indicator, *Journal of ETA Maritime Science*, 6 (1), 37-46.
- Sarriera, J. M., Serebrisky, T., Araya, G., Briceño-Garmendia, C., & Schwartz, J. (2013). Benchmarking container port technical efficiency in Latin America and the Caribbean. *Inter-American Development Bank*, 1-28.
- Schoyen, H. ve Odeck, J. (2013). The Technical Efficiency of Norwegian Container Ports: A Comparison to Some Nordic and UK Container Ports Using Data Envelopment Analysis (VZA), *Maritime Economics & Logistics*, 15(2):197-221
- Simoes, P. ve Marques, R.C. (2010). Influence of Congestion Efficiency on The European Seaports Performance: Does It Matter?, *Transport Reviews*, 30(4): 517-539.
- Song, Y. & Liu, H. (2020). Internet development, economic level, and port total factor productivity: an empirical study of Yangtze River ports, *International Journal of Logistics Research and Applications*, 23(4), 375-389.
- Turner, H., Windle, R., & Dresner, M. (2004). North American containerport productivity: 1984–1997. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 40(4), 339-356.
- UNCTAD (2020), Review of Maritime Transport 2020, [https://unctad.org/system/files/official-document/rmt2020\\_en.pdf](https://unctad.org/system/files/official-document/rmt2020_en.pdf)
- Wang, C.N., Nguyen, N.A.T., Fu, H.P., Hsu, H.P. & Dang, T.T. (2021). Efficiency assessment of seaport terminal operators using VZA Malmquist and Epsilon-Based Measure Models. *Axioms*, 10(2), 48.
- Wu, Y. C. J., Yuan, C. H., Goh, M., & Lu, Y. H. (2016). Regional port productivity in APEC. *Sustainability*, 8(7), 689.
- Yuen, A.C., Zhang, A. ve Cheung, W. (2013). Foreign Participation and Competition: A Way to Improve The Container Port Efficiency In China?, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 49:220-231.
- Yüksekyıldız, E. ve Tunçel, A. L. (2020), Determining the Relative Efficiency of Container Terminals in Turkey Using Fuzzy Data Envelopment Analysis, *Marine Science and Technology Bulletin*, 9 (2), 102-113.
- Yüksekyıldız, E. (2021). Entropi Ve Eatwos Yöntemleri İle Türkiye Konteyner Limanlarının Verimlilik Analizi. *Verimlilik Dergisi*, (2), 3-24.

Ek1- Liman Verimliliği Konusunda Yapılan Çalışmalar

Yazar	Yıl	Girdi	Çıktı	Yöntem
Niavis ve Tsekeris	2012	Rıhtım Sayısı, Rıhtım Uzunluğu ve Vinç Sayısı	Elleçlenen Konteyner Miktarı	VZA ve Süper Etkinlik VZA
Ateş ve Esmer	2013	İskele Uzunluğu, Konteyner Terminalindeki Vinç Sayısı, Konteyner Stok Alanı, Draft	Elleçlenen Konteyner Miktarı	VZA Malmquist Toplam Faktör Verimlilik Endeksi
Ateş vd.	2013	Konteyner Rıhtım/ İskele Uzunluğu, Konteyner Terminalindeki Vinç Sayısı, Konteyner Stok Alanı, Draft	Gemi Çağruları ve Elleçlenen Konteyner Miktarı	Girdi Yönelimli VZA
Bichou	2013	Rıhtım Uzunluğu, Draft, Terminal Alanı, Saha İstif Endeksi, Rıhtım Kreyn Endeksi ve Kamyon, Araç ve Kapı Sayısı	Elleçlenen Konteyner Miktarı	VZA
Yuen vd.	2013	Toplam Rıhtım Uzunluğu, Yanaşma Yeri Sayısı, Rıhtımda ve Sahada Bulunan Kreyn Sayısı ile Liman Alanı	Elleçlenen Konteyner Miktarı	Tobit, Regresyon Modelleri ve VZA
Schoyen ve Odeck	2013	Terminal Alanı, Rıhtım Uzunluğu, Römorkör Sayısı ile Saha ve Rıhtım Kreyn Sayısı	Elleçlenen Konteyner Miktarı	VZA
Sarriera vd.	2013	Konteyner Rıhtım Alanı, Mevcut Vinç Sayısı, Rıhtım Uzunluğu	Elleçlenen Konteyner Miktarı	SSA
Güner vd.	2014	Toplam Harcamalar ve İşgücü	Toplam Gelir, Gelen Gemi Sayısı ve Elleçlenen Yük Miktarı	VZA
Ateş ve Esmer	2014	Toplam Rıhtım Vinci, Stok Alanı, Draft, Konteyner Rıhtım Uzunluğu ve Toplam Transiter ve İstif Ekipmanı	Elleçlenen Konteyner Miktarı	VZA-SSA
Rajasekar ve Deo	2014	Rıhtım Uzunluğu, Rıhtım Sayısı, Ekipman ve Çalışan Sayısı	Toplam Gemi Trafığı Sayısı ile Elleçlenen Konteyner Miktarı	VZA
Baran ve Gorecka	2015	Terminal Alanı, Depolama Kapasitesi, Konteyner Gemilerine Ayrılan Rıhtım Sayısı ve Rıhtım Uzunluğu	Elleçlenen Konteyner Miktarı	Malmquist Verimlilik İndeksi ve VZA
Button ve Kramberger	2015	Terminal Alanı, Draft, Rıhtım Uzunluğu ve Vinç Sayısı	Gemi Çağruları ve Elleçlenen Konteyner Miktarı	VZA
Akgül vd.	2015	Terminal Sayısı, Rıhtım Vinç Sayısı, Rıhtım Uzunluğu ve Draft	Elleçlenen Konteyner Miktarı	SSA-VZA
Nguyena vd.	2016	Kargo Elleçleme Ekipmanları, Rıhtım Uzunluğu, Terminal Alanı, Depo Kapasitesi	Elleçlenen Konteyner Miktarı	VZA
Barros vd.	2016	Taşınan Yolcu Miktarı, Dış Ticaret İçin Taşınan Kargo ve Konteyner Miktarı	Maliyet, İşçi Ücretleri, Sermaye Tesislerinin Ücreti	SSA
Wu et al.	2016	Terminal Alanı, Kapasite ve Rıhtım Uzunluğu	Elleçlenen Konteyner Miktarı	Generalized Metafrontier Malmquist Productivity

				Index (Gmmpt)
Altın vd.	2017	Limanın Kurulduğu Alan, Gemi Sayısı, Rıhtım Genişliği, Rıhtım Vinç Sayısı ile Rıhtım Derinliği	Elleçlenen Konteyner Miktarı	VZA
Acer ve Timor	2017	Çalışan Sayısı Terminal Rıhtım Uzunluğu SAHA +CFS Ekipmanı	Elleçlenen Konteyner Miktarı, Yıllık Gemi Kabul Sayısı	Çıktı Yönelimli CCR, VZA, Kümeleme Analizi
Ropero vd.	2019	Terminal Alanı, Toplam Rıhtım Uzunluğu, Rıhtım Vinç Sayısı ve Taşıyıcıların Sayısı	Gemi Sayısı, Elleçlenen Konteyner Miktarı	VZA
Görçün	2019	Personel Sayısı, Rıhtım Uzunluğu, Draft, Ekipman Sayısı, Depolama Alanı, Maksimum Gemi Uzunluğu, Liman Sahası, Düzenli Hat Sayısı ve Kapasite	Hizmet Alan Gemi Sayısı, Yıllık Gelirler ve Elleçlenen Konteyner Sayısı	Entropi ve EATWOS
Yüksekyıldız ve Tunçel	2020	Elleçleme Kapasitesi, Draft, Terminal Alanı ve Rıhtım Uzunluğu	Elleçlenen Konteyner Miktarı	Bulanık VZA
Yüksekyıldız	2021	Terminal Alanı, Draft, Terminal Rıhtım Uzunluğu ve Konteyner Elleçleme Kapasitesi	Elleçlenen Konteyner Sayısı	Entropi ve EATWOS
Wang et al.	2021	Öz Sermaye, Toplam Varlıklar, İşletme Masrafları ve Yükümlülükler	Gelir ve Kar	VZA Malmquist Yöntemi ile Epsilon Tabanlı Ölçü (EBM- Epsilon-Based Measure) Yöntemi

Ek2-2015-2018 Yılları Arasında Hicks-Moorsteen TFP Değişim Oranları

Liman	2015-2016						2016-2017						2017-2018					
	TFP	TEC	TFPE	OTE	OME	ROSE	TFP	TEC	TFPE	OTE	OME	ROSE	TFP	TEC	TFPE	OTE	OME	ROSE
Boston	0,9689	0,8787	1,1026	0,9934	1,0000	1,1100	0,9489	0,8244	1,1510	0,9814	1,0000	1,1727	0,9313	0,7894	1,1798	1,0353	1,0000	1,1395
Newyork	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	0,8246	1,2127	1,0000
Philadelphia	0,9415	0,8618	1,0925	1,0747	1,0000	1,0166	0,8757	0,8130	1,0771	0,9833	1,0000	1,0954	0,9362	0,8042	1,1642	0,9817	1,0000	1,1858
Wilmington (DE)	0,9766	1,0000	0,9766	1,0000	1,0000	0,9766	0,9879	0,9019	1,0953	1,0000	1,0000	1,0953	0,9901	0,8688	1,1396	1,0000	1,0000	1,1396
Baltimore	0,9818	0,9229	1,0638	1,0290	1,0000	1,0339	0,9437	0,8944	1,0551	0,9997	1,0102	1,0448	0,9609	0,8576	1,1204	1,0179	0,9906	1,1112
Virginia	1,0245	1,0872	0,9423	0,9378	1,0379	0,9681	0,9952	0,9792	1,0163	1,0000	1,0353	0,9817	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	0,9703	1,0306
Wilmington (NC)	1,0547	1,0036	1,0509	1,0264	1,0000	1,0240	1,0294	1,0127	1,0165	1,0000	1,0000	1,0165	0,8575	0,7890	1,0869	1,0000	1,0000	1,0869
Charleston	1,0154	1,0401	0,9763	1,0000	1,0000	0,9763	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	0,9378	1,0663	1,0000
Savannah	0,8867	1,0401	0,8525	1,0000	1,0000	0,8525	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	0,9534	1,0488	1,0000
Jacksonville	0,9493	0,8507	1,1159	1,1030	1,0000	1,0117	0,9038	0,8130	1,1116	1,0367	1,0000	1,0722	0,8830	0,8083	1,0924	0,9244	1,0000	1,1818
Palm Beach	1,0074	1,0150	0,9926	1,0000	1,0000	0,9926	0,9753	0,8107	1,2031	1,0000	1,0000	1,2031	0,9781	0,9568	1,0223	1,0000	1,0000	1,0223
Everglades	1,0025	1,0401	0,9639	1,0000	1,0000	0,9639	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	0,9758	1,0248	1,0000
Miami	0,9940	0,9229	1,0771	1,0409	1,0000	1,0348	0,9902	0,8944	1,1071	1,0478	1,0000	1,0566	0,9746	0,8576	1,1364	1,0104	1,0000	1,1247
Mobile	0,9189	0,8507	1,0801	1,0000	1,0000	1,0801	0,9195	0,8130	1,1309	1,0000	1,0000	1,1309	0,9705	0,8005	1,2124	1,0000	1,0000	1,2124
Gulfport	0,8923	0,8585	1,0394	1,0000	1,0000	1,0394	0,8230	0,7885	1,0437	1,0000	1,0000	1,0437	1,0570	1,0717	0,9863	1,0000	1,0000	0,9863
New Orleans	1,0009	1,0000	1,0009	1,0000	1,0000	1,0009	0,9989	1,0000	0,9989	1,0000	1,0000	0,9989	0,9834	0,9671	1,0168	1,0000	1,0000	1,0168
Houston	1,0060	1,0130	0,9931	0,9997	1,0000	0,9934	1,0376	1,0080	1,0293	1,0334	1,0000	0,9961	1,0000	1,0000	1,0000	0,9301	1,0698	1,0051
Long Beach	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,4426	0,6932	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	0,6932	1,4426	1,0000	1,0000	1,0000	0,9577	1,0442	1,0000
Los Angeles	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	0,9665	1,0346	1,0000
Oakland	0,9913	1,0000	0,9913	1,0047	1,0008	0,9859	0,9928	0,9078	1,0937	1,0174	1,0024	1,0723	0,9837	0,9670	1,0173	0,9876	0,9970	1,0331
Tacoma	1,0031	1,0130	0,9902	0,9911	1,0000	0,9991	1,0205	0,9557	1,0678	1,0191	1,0000	1,0478	0,9997	0,9467	1,0559	1,0179	1,0000	1,0374
Seattle	0,9780	0,9229	1,0597	1,0252	1,0167	1,0166	0,9139	0,8944	1,0218	0,9562	0,9917	1,0776	0,9623	0,8576	1,1220	0,9998	0,9926	1,1306

Ek3-2015-2018 Yılları Arasında Malmquist TFP Değişim Oranları

Liman	2015-2016						2016-2017						2017-2018					
	TFP	TEC	TFPE	OTE	OME	ROSE	TFP	TEC	TFPE	OTE	OME	ROSE	TFP	TEC	TFPE	OTE	OME	ROSE
Boston	0,9758	1,0425	0,9361	0,9934	1,0000	0,9423	0,9568	1,0253	0,9332	0,9814	1,0000	0,9509	0,9474	0,9827	0,9641	1,0353	1,0000	0,9312
Newyork	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	0,8246	1,2127	1,0000
Philadelphia	0,9414	0,8907	1,0570	1,0747	1,0000	0,9835	0,8726	1,0433	0,8364	0,9833	1,0000	0,8506	0,9409	1,0588	0,8886	0,9817	1,0000	0,9052
Wilmington (DE)	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
Baltimore	0,9815	1,0425	0,9415	1,0290	1,0000	0,9150	0,9462	1,0253	0,9228	0,9997	1,0102	0,9137	0,9641	0,9827	0,9811	1,0179	0,9906	0,9730
Virginia	1,0528	1,0872	0,9683	0,9378	1,0379	0,9948	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0353	0,9659	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	0,9703	1,0306
Wilmington (NC)	1,0699	1,0425	1,0264	1,0264	1,0000	1,0000	1,0463	1,0463	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	0,9320	0,9913	0,9401	1,0000	1,0000	0,9401
Charleston	1,0311	1,0748	0,9594	1,0000	1,0000	0,9594	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	0,9378	1,0663	1,0000
Savannah	0,7862	1,0748	0,7316	1,0000	1,0000	0,7316	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	0,9534	1,0488	1,0000
Jacksonville	0,9487	0,8789	1,0795	1,1030	1,0000	0,9786	0,8958	1,0194	0,8788	1,0367	1,0000	0,8476	0,8879	1,0629	0,8353	0,9244	1,0000	0,9037
Palm Beach	1,0150	1,0150	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
Everglades	1,0051	1,0748	0,9352	1,0000	1,0000	0,9352	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	0,9758	1,0248	1,0000
Miami	0,9955	1,0062	0,9894	1,0409	1,0000	0,9505	0,9906	1,0253	0,9661	1,0478	1,0000	0,9221	0,9764	0,9827	0,9937	1,0104	1,0000	0,9834
Mobile	0,9925	1,0010	0,9915	1,0000	1,0000	0,9915	0,9884	0,9973	0,9910	1,0000	1,0000	0,9910	0,9930	0,9965	0,9964	1,0000	1,0000	0,9964
Gulfport	0,9274	1,0132	0,9154	1,0000	1,0000	0,9154	0,8589	0,9595	0,8952	1,0000	1,0000	0,8952	1,0717	1,0717	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
New Orleans	1,0017	1,0017	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
Houston	1,0054	1,0130	0,9925	0,9997	1,0000	0,9928	1,0361	1,0080	1,0278	1,0334	1,0000	0,9946	1,0000	1,0000	1,0000	0,9301	1,0698	1,0051
Long Beach	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,4426	0,6932	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	0,6932	1,4426	1,0000	1,0000	1,0000	0,9577	1,0442	1,0000
Los Angeles	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	0,9665	1,0346	1,0000
Oakland	1,0000	1,0000	1,0000	1,0047	1,0008	0,9945	0,9984	0,9973	1,0011	1,0174	1,0024	0,9815	1,0000	1,0000	1,0000	0,9876	0,9970	1,0156
Tacoma	1,0028	1,0130	0,9899	0,9911	1,0000	0,9988	1,0170	0,9915	1,0258	1,0191	1,0000	1,0066	0,9997	0,9913	1,0085	1,0179	1,0000	0,9908
Seattle	0,9776	1,0425	0,9377	1,0252	1,0167	0,8996	0,9171	1,0253	0,8945	0,9562	0,9917	0,9433	0,9650	0,9827	0,9820	0,9998	0,9926	0,9895







# Analysis of The Manufacturing Process Using Polypropylene by Plastic Injection Molding Method

Mustafa Timur<sup>1\*</sup>, Halil Kılıç<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Adnan Menderes University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, Aydın, Turkey, (ORCID: 0000-0002-4569-0450), [mustafa.timur@adu.edu.tr](mailto:mustafa.timur@adu.edu.tr)

<sup>2</sup> Kırklareli University, Technical Sciences Vocational School, Department of Machine, Kırklareli, Turkey, (ORCID: 0000-0001-6182-356X), [halil.kilic@klu.edu.tr](mailto:halil.kilic@klu.edu.tr)

(First received 10 September 2021 and in final form 30 November 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.993601)

**ATIF/REFERENCE:** 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.

## Abstract

Polypropylene is the most widely used type of polymer material. It is widely used in many areas from food to textile. Plastic injection molding is one of the most common methods used in the production of plastic parts. Many products in different sizes and shapes can be produced with plastic injection molding. In our study, carved furniture was produced from polypropylene raw material by plastic injection method and the parameters suitable for production were specified. Factors such as pressure, temperature, time, and speed are factors that directly affect the production and end product quality. For this reason, it is very important that the parameters are optimized well. The total cycle time of the production is determined as 40 seconds, and the final product is a product with 170 grams and 0.9 mm wall thickness. At the end of the study, the cost expenses of the sample firm were specified.

**Keywords:** Plastic injection, Injection molding, Polypropylene, Plastic injection machine.

## Plastik Enjeksiyon Kalıplama Yöntemi ile Polipropilen Kullanarak Üretim Sürecinin Analizi

### Öz

Polipropilen en yaygın kullanılan polimer malzeme türüdür. Gıdadan tekstile bir çok alanda kullanımı oldukça yaygındır. Plastik enjeksiyon ile kalıplama yöntemi, plastik parçaların üretiminde kullanılan en yaygın yöntemlerden bir tanesidir. Plastik enjeksiyon kalıplama ile farklı ebatlarda ve şekillerde bir çok ürün üretilebilmektedir. Çalışmamızda, plastik enjeksiyon yöntemi ile polipropilen hammaddeden, oymalı mobilya üretimi yapılmış ve üretime uygun parametreler belirtilmiştir. Basınç, sıcaklık, zaman ve hız gibi faktörler üretimi ve son ürün kalitesini doğrudan etkileyen faktörlerdir. Bu sebeple, parametrelerin optimizesinin iyi olması oldukça önemlidir. Üretimin toplam döngü süresi 40 saniye olarak belirlenmiş olup, son ürün 170 gr ve 0.9 mm et kalınlığına sahip bir üründür. Çalışma sonucunda, örnek firmaya ait maliyet giderleri belirtilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Plastik enjeksiyon, Enjeksiyon kalıplama, Propilen, Plastik enjeksiyon tezgahı.

\* Corresponding Author: [halil.kilic@klu.edu.tr](mailto:halil.kilic@klu.edu.tr)

## 1. Introduction

Plastics are materials used in a wide variety of fields due to their lightweight, durable and easy formability. In addition to their low cost, they can be transformed into many valuable parts, which makes plastics unique. It is also called polymer and plastics consisting of different polymer chains exist in almost every part of our daily life in different forms and structures.

Plastics are among the most preferred materials with many advantages they offer to users. One of the qualifications sought in today's technology is to obtain high quality products at low cost. For this reason, one of the production methods of plastic parts obtained by different methods is plastic injection. In the literature, there are many studies to increase productivity (Oktaç et al., 2021) (Timur and Kılıç, 2021). There are parameters that affect efficiency improvement. The most important issue to increase productivity in injection molding; The time spent in mold changes is that the subsequent stages of production will be planned well. In the context of plastic injection systems, it is possible to handle lot-size and scheduling problems with some techniques and to design a mathematical formulation. These formulas, which were produced in the experimental stage, can provide optimal and applicable solutions by considering them commercially. Cervantes et al., found better and comparable solutions with a two-step sequential approach. In the approach they suggested, they aimed to improve the quality and calculation time (Cervantes et al., 2020). Aslaner et al., have done research that will help future studies for machine scheduling problems to be created by establishing a mathematical modeling in their work. In this study, they consider machine constraints, transaction sequences and processing times and deadlines in multi-order situations (Aslaner et al., 2021). In another study, a new approach is presented to train a machine learning-based model, and includes simulation data to minimize the amount of physical experiments. For this purpose, melt temperature, flow rate, packaging pressure and mold temperature and all these data of an injection molding process; It is intended to correlate with the weight and thickness of the product. The deviations in the thickness of the desired sample and the average thickness of the produced part are minimized by this simulation (Finkeldey et al., 2020). Maulidina et al., aimed to determine the optimum maintenance time interval for critical components and the total maintenance cost of the injection molding machine. A more appropriate figure has been obtained and this study may lead to more optimal maintenance and cost calculations in the future. In one study, it was predicted that the corrosion caused by the water hardness used in the cooling channels slows down the cooling in the channels, and a study has been done to improve this. The recommendation given in this study is to change the water hardness. In this way, it extends the life of the plastic injection mold, the timing factor that causes rusting is removed (Maulidina et al., 2019).

In the literature, some comparisons have been made using the rapid cooling system technology that will work integrated with the conventional refrigerated plastic injection process. According to the results of the study, more successful results were obtained with the rapid cooling process compared to conventional cooling, both visually and in terms of brightness of the product. For this reason, it is aimed to reduce the cost of painting and to complete the production without the need for a second process (Özgül, 2020).

There are processes in plastic injection production method such as receiving raw materials, heating and melting, injection into the mold with pressure, cooling and removing parts, surface smoothing and cutting waste. As in all production planning, productivity is very important in production with plastic injection method (Kılıç and Timur, 2021). Due to reasons such as high product variety, rapidly changing customer demands, appropriate production plans and experimental designs are tried to be created. In one study, some research was done into a real problem happening in a plastic injection factory. With the literature reviews, the planning of the manufacturing companies has been examined and it is aimed to increase the efficiency with these comparisons (Erkut, 2019). In one study, they investigated the effects of cooling water on polypropylene material produced by changing the flow rate. During this examination, all parameters were kept constant and only the flow rate of the water was the variable. As a result of the study, the melt in the mold cooled faster with the increase in flow rate (Kızıllöz, 2019).

With the developing plastic production, the plastic injection method has been used more widely in mass production. Fuzzy logic method has been used in order to save material, reduce cycle time and increase mold life. Experimental and theoretical knowledge base has been created with information such as injection parameters and manufacturing rules. With this database, the optimization of the parameters is provided by using the fuzzy logic method (Tunçer, 2019).

## 2. Material and Method

The study was carried out under the headings such as raw material, production, mold and machine properties, consumption.

### 2.1. Plastic Raw Material-Polypropylene

Polypropylene material has been used as a raw material with its low fragility, resistant to heat and chemical acids, high strength, and its cost-effectiveness among plastic types.



Fig. 1 Polypropylene raw material

Each supplier company has technical characteristics of its raw materials. Technical characteristics of our raw material Table 1 also shown.

Table 1. Properties of polypropylene

Properties	Polypropylene
Density (g/cm <sup>3</sup> )	110
Melting temperature (°C)	223
Transition to glassy temperature (°C)	197
Thermal conductivity (10 <sup>-4</sup> cal/s.cm.°C)	134
Specific heat (Cal/g°C)	202
Thermal transmittance (10 <sup>-4</sup> cal/s.cm.°C)	24

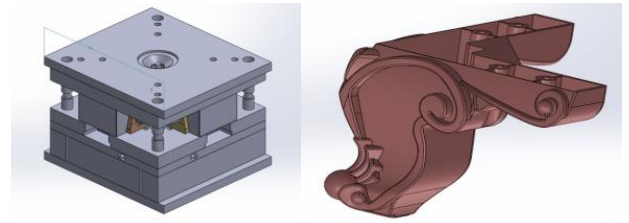


Fig. 3 Mold design for carved furniture leg

## 2.2. Production

Firstly, polypropylene melt temperatures are entered. After adjusting the injection temperatures, the screw material distance is adjusted. This varies according to the weight of each piece. The amount of melt covered by that distance is transferred to the mold. Then the speed settings of the injection are entered. Entering the injection speed settings gradually will give better results as it is adjusted according to the melt temperature of the product.

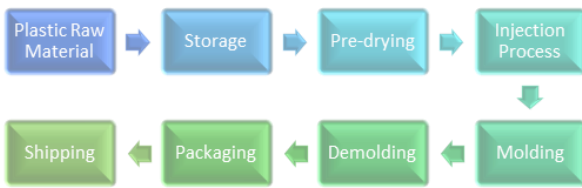


Fig. 2 Production flow chart

Optimum injection temperatures and pressures and times were entered as shown below in Table 2 and Table 3.

Table 2. Injection settings

Parameters	Value				
Zone	5	4	3	2	1
Pressure (bar)	60	65	70	75	80
Speed (%)	30	30	30	30	30

Table 3. Holding settings

Parameters	Value		
Zone	3	2	1
Pressure (bar)	60	60	60
Speed (%)	65	65	65
Time (second)	1	1	1

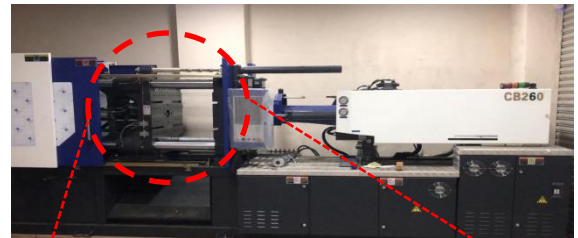
## 2.3. Injection Mold and Injection Machine

The mold design shown and the features of the finished part are shown in the Table 3. Features have the desired product characteristics.

Table 4. Properties of final product

Properties	Value
Length (cm)	14
Height (cm)	12
Wall thickness (cm)	0.9

a)



b)

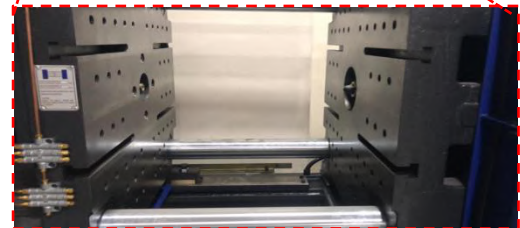


Fig. 4 a) Plastic injection machine, b) Mold unit

The technical specifications of the HAITAN-CB260 branded plastic injection molding machine purchased from Fakiroğlu plastic.

## 2.4. Chiller Cooling System

In the system, we reduce the cooling water from 35°C to 17°C to cool the molds. The mold will perspire below 17°C. The cooling water chiller enters the system at 35°C and comes to the mold at 17°C. A cooling system with two compressors was used while performing the cooling process.



Fig. 5 Cooling system with two-compressor

In the system, mass flow rate of water is 250 kg in hour (kg/h) and specific heat of the water is 1 cal/g°C.  $T_{end}=17\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{first}=35\text{ }^{\circ}\text{C}$  and using specific heat capacity formula;

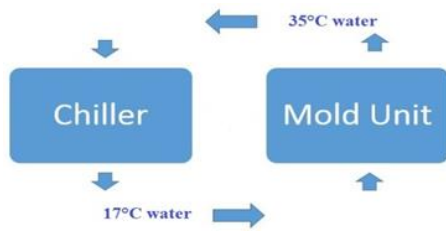


Fig. 6 Systematic of the cooling system

### 2.5. Electricity Consumption

Energy consumption classes and monthly energy consumption costs in the production process are summarized in Table 5.

Table 5. Cost estimation of electricity for monthly

Parameters	Plastic Crushing Machine	Plastic Injection Machine	Chiller System
Piece	1	1	1
Power (kW)	15	31.3	50
Daily Operating (hour)	8	12	12
Monthly Operating (hour)	8*26	12*26	12*26
Consumption (₺/kWh)	0.48	0.48	0.48
Cost (₺)	1.497,60	4.687,49	7.488,20
<b>Total Cost (₺)</b>	<b>13.673,09</b>		

### 2.6. Factory Plan

Production-related activities such as transportation, storage, quality control must be coordinated as a whole in terms of their physical location. The main purpose of the factory arrangement is to minimize the amount of movement of living and non-living things. A poorly placed factory layout causes energy loss, chaos, delay, control and management difficulties. In addition, it is a factor that directly affects costs. The factory planning of the enterprise is shown in the Fig. 7.

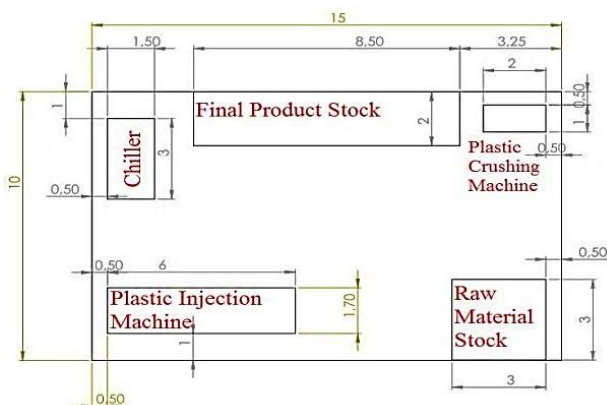


Fig. 7 Planning of factory (lengths are specified in meters)

### 3. Results and Discussion

Cost is all of the costs incurred, directly or indirectly, to make and sell a product or a service. Cost analysis is used to make these calculations. One of the most important points in plastic injection production is cost. There are many factors affecting the cost. In plastic injection design and production, there are 6 main topics and these are raw material cost, mold design and production cost, production cost, marketing cost, employee costs and factory fixed costs. The main factors that make up the production cost are raw material cost, mold cost, injection machine cost, operational costs. The main factors that make up the cost of raw materials are costs such as transportation and storage. Factors such as machine maintenance and repair costs and machine depreciation constitute machine costs. Energy consumption, maintenance and repair, calibration, packaging and transportation costs are the factors that create operational costs. Personnel expenses are composed of factors such as premium, employee wages, service and catering services. After all, extra expenses are incurred for the promotion and marketing of the product. Costs such as market research, magazine and brochure printing, website design, advertising and fairs also occur. The Table 6 indicates the costs of the factory.

Table 6. Cost estimation

Cost types	Price (monthly)
<b>Raw Material and Machine Expenses</b>	
Product and mold design	70.000 ₺
Raw material	45.000 ₺
Transportation	5.000 ₺
Injection machine	280.000 ₺
Machine maintenance and repair	1.250 ₺
Mold maintenance and repair	625 ₺
Electricity consumption	13.673 ₺
Packaging	10.000 ₺
<b>Personal Expenses</b>	
Bonus	1.200 ₺
Service	1.000 ₺
Meal	2.000 ₺
Working	12.000 ₺
<b>Other Expenses</b>	
Website design	500 ₺
Advertising	500 ₺
Fair	5.000 ₺
Magazine and brochure printing	1.000 ₺
<b>Total</b>	<b>448.748 ₺</b>

### 4. Conclusions

The main purpose of our study is to obtain a quality product with suitable parameters, as well as to eliminate the factors that will increase the cost by optimizing the parameters. When it comes to production, minimum cost - maximum quality is always more advantageous. Plastic injection machine settings were determined as optimum values and shown in the study. The wall thickness is in the appropriate range recommended for polypropylene material and this value is 0.9 mm. For carved

furniture legs; the product was measured as 12 cm in height and 14 cm in length. The strength and solidification of the product were better when sufficient cooling was achieved in the mold. Water arriving at 35 °C is sent to the mold at 17 °C in the chiller cooling group. At values below 17 °C, sweating occurs in the mold and products with defects on the surface are formed. The total cost has been determined as approximately 13.673 ₺. Monthly expenses are specified in Table 5. This study will be helpful in future studies in determining the average expenses of these studies and determining the appropriate parameters for the product in the studies that will make production with the plastic injection molding method.

## References

- Aslaner, A.A., Coşkun, A., Tülemiş, N.İ., Özboyacı, E., Ergün, N., Bulut, B., Gülbent, G., Paldrak, M. & Staiou, E. (2021). Parallel machine scheduling problem for a plastic injection company. *Lecture Notes in Mechanical Engineering*, Springer.
- Cervantes-Sanmiguel, K.I., Vargas-Flores, M. J. & Ibarra-Rojas, O.J. (2020). Two-stage sequential approach for scheduling with lot-sizing decisions in the context of plastic injection systems. *Computers & Industrial Engineering*, 106969.
- Erkut, M. (2019). An enhanced requirements extraction application for advanced planning systems: a case study for plastic injection factory planning. The Degree of Master of Science Thesis, İzmir University of Economics, İzmir, Turkey.
- Finkeldey, F., Volke, J., Zarges, J.C., Heim, H. & Wiederkehr, P. (2020). Learning quality characteristics for plastic injection molding processes using a combination of simulated and measured data. *Journal of Manufacturing Processes*, 60, 134-143.
- Kılıç, H. & Timur, M. (2021). Plastik enjeksiyon tezgâhlarında vida kırılmasının akustik emisyon yöntemi ile tespit edilmesi, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 28, 126-129.
- Kızıloz, H. (2019). Changing of cooling parametres in plastic injection mould and investigation of effects on production of polypropylene product. Institute of Graduate Studies, Konya Technical University, Konya, Turkey.
- Maulidina, L. N., Atmaji, F.T.D. & Alhilman, J. (2019). The proposed maintenance task for plastic injection machine using reliability and risk centered maintenance (RRCM) method in manufacturing industry. *Computer, Mathematics and Engineering Applications*, 10, 83-92.
- Oktaç, M., Timur, M. & Kılıç, H. (2021). Impact of dehumidification devices on production efficiency in plastic injection. *Sakarya University Journal of Science*, 25(5), 1129-1135.
- Özgülven, C. (2020). Comparison of conventional plastic injection molding process and plastic injection molding process with rapid heat and cool technology. Graduate School of Natural and Applied Sciences, Kocaeli University, Kocaeli, Turkey.
- Timur, M. & Kılıç, H. (2021). Endüstride pet şişe üretiminde karşılaşılan problemler ve çözüm önerileri, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 9(5), 2067-2076.
- Tunçer, K. (2019). Investigation of the effects of plastic injection parameters on product quality. Master Thesis, Graduate School of Applied and Natural Sciences, Celal Bayar University, Manisa, Turkey.



# Examination of the Dosimetric Effects of the Headrest Used in Radiotherapy by Different Algorithms

Taylan Tuğrul<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> Van Yüzüncü Yıl University, Faculty of Medicine, Department of Radiation Oncology, Van, Turkey, (ORCID: 0000-0002-0557-1334), [taylantugrul@gmail.com](mailto:taylantugrul@gmail.com)

(First received 12 September 2021 and in final form 10 November 2021)

(DOI:10.31590/ejosat.994291)

**ATIF/REFERENCE:** Tuğrul, T. (2021). Examination of the Dosimetric Effects of the Headrest Used in Radiotherapy by Different Algorithms. *European Journal of Science and Technology*, (27), 837-841.

## Abstract

**INTRODUCTION:** The use of immobilization devices is imperative in radiotherapy to ensure proper positioning of the patient and correct application of the treatment. Headrests are frequently used to restrict the movement of a patient and to provide comfortable laying during the treatment. The aim of the present study was to examine the effect of a headrest on dose distribution by including the headrest in the body structure using two different algorithms. **METHODS:** The body structures on seven patient images were contoured with and without headrest. Dose distribution within the body was calculated for each patient using both Collapse Cone (CC) and Monte Carlo (MC) algorithms for cases where the headrest was included in the body structure and removed. The obtained results were compared with the gamma analysis method. **RESULTS:** The headrest has some effect on the dose distribution. Specifically, the results of the gamma analysis indicate that when the headrest was included in the body structure doses to the body were somewhat reduced. Since the CC algorithm does not allow calculation of secondary photons and scattered radiation sufficiently accurate in a low density environment, the similarity results of the CC algorithm were higher in the gamma analysis than those of the MC algorithm. **DISCUSSION AND CONCLUSION:** In order to accurately calculate the radiation dose, all the materials through which the radiation passes during the treatment must be specified in a treatment planning system. It is concluded that even if the immobilization devices are of low-density material, they have some effect on the dose distribution within a patient and should be included in the treatment planning system.

**Keywords:** Radiotherapy, immobilization devices, headrest, treatment planning system.

## Radyoterapide Kullanılan Baş Yastığının Dozimetrik Etkisinin Farklı Algoritmalarla İncelenmesi

### Öz

**GİRİŞ ve AMAÇ:** Radyoterapide immobilizasyon cihazlarının kullanılması hastanın doğru pozisyon alması ve tedavinin doğru uygulanması için zorunludur. Tedavi sırasında hastanın hareketini kısıtlamak ve rahat bir şekilde yatışını sağlamak için baş yastıkları sıklıkla kullanılmaktadır. Bu çalışmanın amacı, baş yastığının doz dağılımı üzerindeki etkisini iki farklı algoritma kullanarak incelemektir. **YÖNTEM ve GEREÇLER:** Yedi hasta görüntüsündeki vücut konturları, baş yastıklı ve baş yastıksız olarak şekillendirildi. Baş yastığının vücut konturuna dahil edilip çıkarıldığı durumlarda hem Collapse Cone (CC) hem de Monte Carlo (MC) algoritmaları kullanılarak her hasta için vücut içindeki doz dağılımı hesaplandı. Elde edilen sonuçlar gama analizi yöntemi ile karşılaştırıldı. **BULGULAR:** Spesifik olarak, gama analizinin sonuçları, baş yastığı vücut konturuna dahil edildiğinde hastaya ulaşan dozların bir miktar azaldığını göstermektedir. CC algoritması, düşük yoğunluklu bir ortamda ikincil fotonların ve saçılan radyasyonun yeterince doğru hesaplanmasına izin vermediğinden, CC algoritmasının benzerlik sonuçları gama analizinde MC algoritmasına göre daha yüksektir. **TARTIŞMA ve SONUÇ:** Hastaya ulaşan radyasyon dozunun doğru bir şekilde hesaplanabilmesi için tedavi sırasında radyasyonun geçtiği tüm materyaller bir tedavi planlama sisteminde belirtilmelidir. Radyoterapide kullanılan immobilizasyon cihazlarının düşük yoğunluklu materyalden oluşsa bile hasta üzerindeki doz dağılımı üzerinde etkilerinin olduğu ve tedavi planlama sistemine dahil edilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Radyoterapi, immobilizasyon cihazları, baş yastığı, tedavi planlama sistemi.

\*Corresponding Author: [taylantugrul@gmail.com](mailto:taylantugrul@gmail.com)

## 1. Introduction

The use of immobilization devices in radiotherapy is indispensable to ensure the proper positioning of a patient and the correct application of the treatment. Immobilization devices are available in different brands and models. While determining the usability of such immobilization devices, factors such as robustness, time required during application, storage and easy use must be taken into consideration (Pang et al. 2017; Melancon et al. 2013).

Intensity modulated radiation therapy (IMRT) and 3-dimensional conformal radiation therapy are the treatment modalities typically used in head and neck cancers radiotherapies. These treatment modalities are preferred to ensure local control of the tumour and to reduce the side effects that may occur in the patient, due to scattered radiation. Geometric errors that may occur in the setup of the head and neck region can significantly affect the treatment (Outhwaite et al. 2013). In the treatment of patients with head and neck cancer, thermoplastic masks and headrests are frequently used to restrict the movement of a patient and provide comfortable laying during the treatment (Oulhouq et al. 2019; Kang et al. 2011).

Treatment Planning Systems (TPSs) are very important for the success of a radiotherapy modality. Consequently, the accuracy of the materials and structures included in the TPS is very important for the quality of treatment. Many TPSs calculate radiation doses only for the tissues indicated within the body structure (Chen et al. 2018; Vanetti et al. 2009; Pulliam et al. 2011). It is argued that to contour immobilization devices in a TPS is not necessary, because these devices consist of low-density material. However, many studies have shown that immobilization devices may influence the dose distribution in a patient (Chen et al. 2018; Tuğrul 2018; Gerig et al. 2010; v et al. 2002; v et al. 2017; Wu et al. 2006). However, studies examining this effect using different algorithms are limited in the literature. Consequently, in the present study, the effect of using different algorithms was studied in detail. It is emphasized that the American Association of Physicists in Medicine (AAPM) Task Group 176 recommends that immobilization devices be included in dose calculations (Olch et al. 2014).

The aim of the present study was to examine the effect of immobilization devices on dose distribution by including a headrest in the body structure of a patient using two different algorithms. The obtained results are compared with those obtained with the method of gamma analysis.

## 2. Material and Method

Dose distribution changes that may occur in the brain region due to the use of a headrest were investigated for seven patients treated for cancer in the head region. Four of the patients were male and three were female, with ages between 40 and 62. All patients were selected from patients with glioblastoma multiforme (GBM) cancer. In this study, the Monaco TPS (v5.1, Elekta AB, Stockholm, Sweden) was used to examine dose distributions. Patient images taken with a Siemens Sensation 4 brand computed tomography device were used and transferred to the TPS. In the TPS, body contours for each patient were drawn with or without headrest. Two different treatment plans were

developed in the TPS, including and not including the interaction of the headrest with radiation. In each patient, the isocenter of the radiation field was positioned in the middle of the brain, and the source-skin-distance (SSD) was set at 88 cm. Monaco TPS consists of three different algorithms; these algorithms are called Pencil Beam (PB), Collapse Cone (CC) and Monte Carlo (MC) MC using the XVMC based MC algorithm. The PB algorithm was not used in this study because it is not preferred in complex treatments such as Stereotactic Body Radiation Therapy (SBRT) and intensity modulated radiotherapy (IMRT) today, and because there have already been many studies published involving the PB algorithm. The Monaco TPS calculates any dose distribution considering only tissues and structures within the body. For this reason, in the present study the Monaco TPS was used, and the body structures of seven patient images were contoured without headrest and with headrest.

An exemplary headrest used for patient treatment is shown in Fig. 1. The headrest considered is a CIVCO Timo Headrest size B (MTTIMOBL) made of durable polyurethane foam (Civco Radiotherapy 2020). The reason for employing the B headrest in the present study is that it is used very frequently in radiotherapy.



Fig 1: CIVCO Timo Headrest size B (MTTIMOBL) used in the present study (Civco Radiotherapy 2020).

In the TPS, the radiation field was created to cover the entire lateral area of the headrest (10x10 cm<sup>2</sup>). In order to understand the effect of the headrest on dose distribution, the same radiation dose (100 Monitor Unit (MU)) was given from the gantry 180° for each case in planning. The dose distribution was calculated for each patient using both the CC and the MC algorithm.

The CC algorithm, which considers the dose contributions of primary photons including photon and electron scattering, is one of the convolution-superposition algorithms. The CC algorithm also calculates kernel energies with lateral scattering and finally allows calculation of the total absorbed dose (Ulmer et al. 2005; Reis et al. 2019; Fogliata et al. 2007; Bragg et al. 2006).

MC algorithms nowadays used by some TPSs offer the most accurate dose calculations including dose contributions from scattered radiation, even for inhomogeneous materials (Chen et al. 2018; Reis et al. 2019). Using random numbers MC algorithms estimate interaction probabilities for various physical processes describing the interaction of ionising radiation with matter. Because an MC algorithm takes into account every interaction of photons and electrons in air and other matter present, it creates reliable dose distributions (Reis et al. 2019;



Fogliata et al. 2007; Bragg et al. 2006; Chow et al. 2009). The MC algorithm included in the Monaco TPS uses an XVMC-based MC algorithm (Monaco 5 Comprehensive treatment planning 2014). Because the effect of all parts of the headrest on the radiation dose should be investigated in the present study, the dose distributions along the coronal axis were calculated with the TPS.

In radiotherapy, the gamma analysis method is typically used to compare the dose distribution values of the two plans. Consequently, the dose distributions obtained in the present study were also compared using the gamma analysis method. The PTW VeriSoft software (PTW, Freiburg, Germany) was utilized to calculate the results of the gamma analysis. Specifically, the 3% dose difference and the 3mm distance to agreement evaluation criteria commonly used in clinic applications were applied. Fig. 2 shows the sample interface of the PTW VeriSoft program.

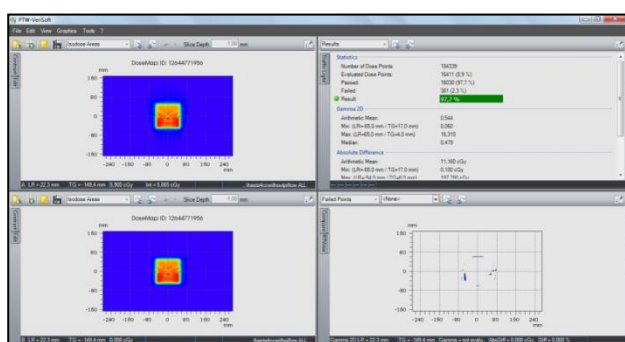


Fig 2: The interface of the PTW VeriSoft program.

### 3. Results and Discussion

For the seven investigated patients, the radiation dose distributions were calculated using the MC algorithm along the coronal axis in the isocenter point (SSD=88 cm) for cases with the headrest included or not included in the body structure. For the same cases, the radiation dose was also calculated using the CC algorithm.

The doses obtained in cases where the headrest was and was not included in the body structure were compared for each algorithm using the gamma analysis method. In addition, doses obtained in cases where headrests were included in the body structure using the MC and CC algorithms were compared with each other.

To give an example, for patient #3, after applying the gamma analysis criteria, the dose points that passed and failed the evaluation criteria are shown in Fig. 3. For all patients, the results of the gamma analysis are shown in Table 1.

Table 1: Gamma analysis results; second column (MC): comparison of MC results with and without headrest; third column (CC): comparison of CC results with and without headrest; fourth column (MC+CC, headrest included): comparison of MC and CC results when headrest was included.

Patient	Results of Gamma Analysis (%)		
	MC	CC	MC and CC, headrest included
1	90.5	99.7	82.1
2	88.6	95.7	80.1
3	88.2	91.3	79.7
4	88.6	97.7	76.9
5	88	92.2	80.6
6	88.1	95.5	79.3
7	88.5	95.3	80.2

The second column of Table 1 shows the results of the gamma analysis when the dose distributions were calculated with the MC algorithm with and without headrest, the third column shows those when the CC algorithm was used, and the fourth column shows the results of the gamma analysis when the dose distributions obtained using the MC and CC algorithm were compared when the headrest was included.

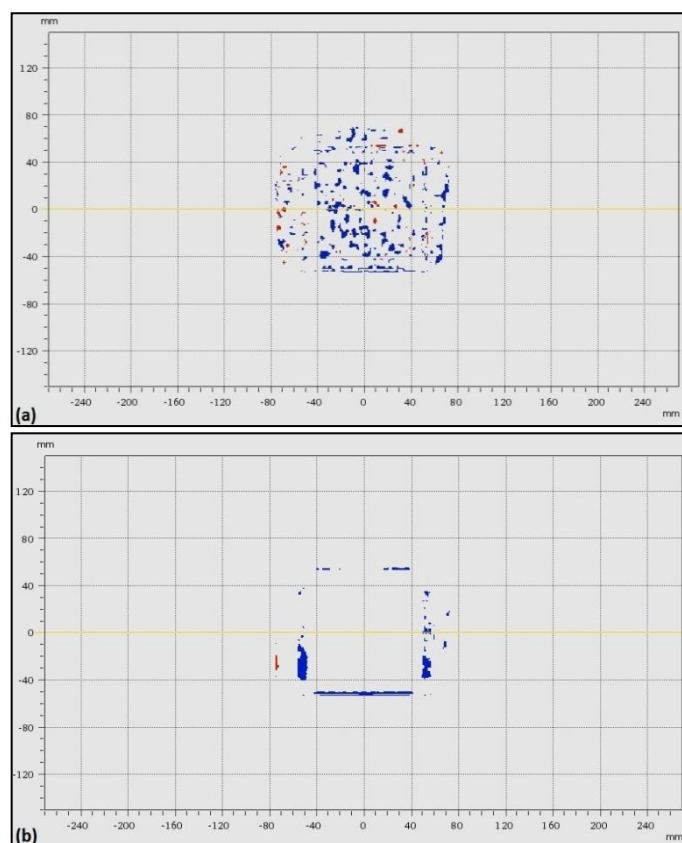


Fig 3: The result of comparison for patient #3 (see Table 1) which passed and failed the evaluation criteria in the gamma analysis. (a): For the dose distribution calculated using the MC algorithm. (b) For the dose distribution calculated using the CC algorithm. The blue and red dots indicate the regions that failed the comparison result. Blue dots show regions with lower dose values, red dots show regions with higher dose values.

A correct calculation of the radiation dose to be applied in cancer therapy is of great importance for both treatment success and avoidance of undesired side effects. For this reason, it has become imperative to examine any algorithm used by TPSs in

radiotherapy. Because in the treatment of head and neck cancer, immobilization devices are used to ensure that the patient lies comfortably and does not move. The effect of these immobilization devices on dose distribution has been investigated many studies and the greatest effect of these devices on dose distribution was shown to be their absorption of radiation. Consequently, if these devices are not defined in a TPS during treatment planning, the dose calculated for the patient may not be calculated correctly and even higher skin doses may result because some immobilization devices may show a bolus effect.

In the study, the effect of a headrest typically used in radiotherapy on dose distribution was investigated using two different dose calculation algorithms. Table 1 shows the differences in the results obtained after applying a gamma analysis. The percentage values given in Table 1 express the agreement value of the dose values of the two plans compared, within the specified criteria, as a percentage. As can be seen, the headrest has an effect on the dose distribution. It is noted that the headrest used as an immobilization device is made low-density material. Since the MC algorithm calculates the radiation dose that may occur in low-density materials more accurately than the CC algorithm, the gamma analysis results of the MC algorithm are lower.

Beside the percentage result of the gamma analysis it is also important to see where the employed headrest when included in the body structure absorbed radiation. These regions are indicated in Fig. 3 as red and blue dots. Fig. 3 demonstrates that for the CC calculations the cold points occurred only at the edges of the radiation field. This is due to the fact that radiation passes through the air environment due to the oval shape of the head (the area of the head that is not in contact with the headrest), and because the CC algorithm does not take into account the effect of the headrest in the middle parts of the radiation field. This is because the CC algorithm does not calculate secondary photons and scattered radiations accurately enough, in a low-density environment. In contrast, the MC algorithm does accurately calculate the scattered and absorbed secondary photon and electron doses, especially in low-density environments.

## **5. Conclusion and Recommendations**

In order to accurately calculate the radiation dose reaching a patient in radiotherapy, all the materials through which the radiation passes during the treatment must be specified in the TPS. Even if the immobilization devices used in radiotherapy are of low-density, they have some effects on the dose distribution within the patient. Therefore, in order for the patient to receive the prescribed radiation dose correctly and to reduce any unwanted side effects that may occur, immobilization devices used must be defined in TPSs and the dose distribution results obtained must be controlled with appropriate quality control equipment. It is emphasized in the study that if there are

immobilization devices such as headrest in the treated area and if we want to accurately measure the effect of immobilization devices on the dose distribution in a patient, the MC algorithm should be used.

## **References**

- 1- Pang EPP, Knight K, Baird M, Loh JMQ, Boo AHS, Tuan JKL. A comparison of interfraction setup error, patient comfort, and therapist acceptance for 2 different prostate radiation therapy immobilization devices. *Advances in Radiation Oncology* 2017; 2:125-131.
- 2- Melancon AD, Kudchadker RJ, Amos RA, Johnson JL, Zhang Y, Yu ZH, Zhang L, Dong L, Lee AK. Patient-specific and generic immobilization devices for prostate radiotherapy. *Int J Med Phys Clin Eng Radiat Oncol* 2013; 2:125-132.
- 3- Outhwaite JA, McDowall WR, Marquart L, Rattray G, Fielding A, Hargrave C. Training programme impact on thermoplastic immobilization for head and neck radiation therapy. *Radiography* 2013; 19:28-34.
- 4- Oulhouq Y, Zerfaoui M, Bakari D, Rrhioua A, Machichi M, Berhili S. The comparison of two calculation algorithms to evaluate the dosimetric effects of thermoplastic masks used in radiotherapy. *Materials Today: Proceedings* 2019; 13:1102-1107.
- 5- Kang H, Lovelock DM, Yorke ED, Kriminiski S, Lee N, Amols HI. Accurate positioning for head and neck cancer patients using 2D and 3D image guidance. *J Appl Clin Med Phys* 2011; 12:86-96.
- 6- Chen L, Peng YL, Gu SY, Shen H, Zhang DD, Sun WZ, Wu JH, Deng XW. Dosimetric Effects of Head and Neck Immobilization Devices on Multi-field Intensity Modulated Radiation Therapy for Nasopharyngeal Carcinoma. *J Cancer* 2018; 9(14):2443-2450.
- 7- Vanetti E, Nicolini G, Clivio A, Fogliata A, Cozzi L. The impact of treatment couch modelling on RapidArc. *Phys Med Biol* 2009; 54(9):157-166.
- 8- Pulliam KB, Howell RM, Followill D, Luo D, White RA, Kry SF. The clinical impact of the couch top and rails on IMRT and arc therapy. *Phys Med Biol* 2011; 56(23):7435-7447.
- 9- Tuğrul T. Absorption ratio of treatment couch and effect on surface and build-up region doses. *Reports Of Practical Oncology And Radiotherapy* 2018; 23:1-5.
- 10- Gerig LH, Niedbala M, Nyiri BJ. Dose perturbations by two carbon fiber treatment couches and the ability of a commercial treatment planning system to predict these effects. *Med Phys* 2010; 37(1):322-328.
- 11- Olch AJ, Lavey RS. Reproducibility and treatment planning advantages of a carbon fiber relocatable head fixation system. *Radiother Oncol* 2002; 65:165-168.
- 12- Pan XB, Huang ST, Chen KH, Jiang YM, Ma JL, Qu S, Li L, Chen L, Zhu XD. Intensity-modulated radiotherapy provides better quality of life than two-dimensional conventional radiotherapy for patients with stage II nasopharyngeal carcinoma. *Oncotarget* 2017; 8(28):46211-46218.
- 13- Wu S, Xie C, Jin X, Zhang P. Simultaneous modulated accelerated radiation therapy in the treatment of nasopharyngeal cancer: A local center's experience. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2006; 66(4):40-46.
- 14- Olch AJ, Gerig L, Li H, Mihaylov I, Morgan A. Dosimetric effects caused by couch tops and immobilization devices:

- report of AAPM Task Group 176. *Med Phys* 2014; 41(6):061501.
- 15- Civco Radiotherapy (2020). *Solutions Guide Volume 6.1*. Orange City, USA.
- 16- Ulmer W, Pyry J, Kaissl W. A 3D photon superposition/convolution algorithm and its foundation on results of Monte Carlo calculations. *Phys. Med. Biol* 2005; 50:1767–1790.
- 17- Reis CQM, Nicolucci P, Fortes SS, Silva LP. Effects of heterogeneities in dose distributions under nonreference conditions: Monte Carlo simulation vs dose calculation algorithms. *Medical Dosimetry* 2019; 44:74–82.
- 18- Fogliata A, Vanetti E, Albers D, Brink C, Clivio A, Knöös T, Nicolini G, Cozzi L. On the dosimetric behaviour of photon dose calculation algorithms in the presence of simple geometric heterogeneities: comparison with Monte Carlo calculations. *Phys. Med. Biol* 2007; 52:1363–1385.
- 19- Bragg CM, Conway J. Dosimetric verification of the anisotropic analytical algorithm for radiotherapy treatment planning. *Radiother Oncol* 2006; 81:315–323.
- 20- Chow JC, Leung MK, Van Dyk J. Variations of lung density and geometry on inhomogeneity correction algorithms: A Monte Carlo dosimetric evaluation. *Med. Phys* 2009; 36:3619-3630.
- 21- Monaco 5 Comprehensive treatment planning (2014) LPCMON090520 v5.0. Elekta AB.



# Machine Selection for a Textile Company with CRITIC and MAUT Methods

Engin Karakış<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> Sivas Cumhuriyet University, Faculty of Economics and Administrative Sciences, Department of Econometrics, Sivas, Turkey, (ORCID: 0000-0003-1271-1742),  
[ekarakis@cumhuriyet.edu.tr](mailto:ekarakis@cumhuriyet.edu.tr)

(First received 13 September 2021 and in final form 30 November 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.994697)

**ATIF/REFERENCE:** Karakış, E. (2021). Machine Selection for a Textile Company with CRITIC and MAUT Methods. *European Journal of Science and Technology*, (27), 842-848.

## Abstract

The main purpose of the companies is to make a profit and to ensure that this profitability is continuous. In this context, the selection of the machines used by the companies in production is an important issue. Businesses have to choose the most suitable machine to reduce their costs and produce efficiently. For this reason, the decision of machine selection is also very important for textile enterprises. Machine selection in textile enterprises is a Multi-Criteria Decision problem in which a large number and contradictory criteria are taken into account. In this study, machine selection will be made with CRITIC and MAUT methods for a textile company. In the study, the weights of the decision criteria that are effective in the decision-making were determined by the CRITIC method. Then, the machine selection was made by evaluating the alternatives with the MAUT method. According to the results of the study, CRITIC and MAUT methods were evaluated as integrally applicable to machine selection.

**Keywords:** Multi-Criteria Decision Making, CRITIC, MAUT, Flat Knitting Machine Selection.

## CRITIC ve MAUT Yöntemleri ile Bir Tekstil İşletmesi İçin Makine Seçimi

### Öz

İşletmelerin temel amacı kâr etmek ve bu kârlılığın sürekli olmasını sağlamaktır. Bu bağlamda işletmelerin üretimde kullandığı makinelerin seçimi stratejik bir karardır. İşletmeler maliyetlerini düşürmek ve verimli üretim yapabilmek için en uygun makineyi seçmek zorundadırlar. Bu nedenle makine seçim kararı tekstil işletmeleri için de çok önemlidir. Tekstil işletmelerinde makine seçimi, çok sayıda ve birbiriyle çelişen kriterin dikkate alındığı çok kriterli bir karar problemidir. Bu çalışmada bir tekstil işletmesi için CRITIC ve MAUT yöntemleri ile makine seçimi yapılmıştır. Çalışmada öncelikle makine seçimi kararı vermede etkili olan karar kriterlerinin ağırlıkları CRITIC yöntemi ile belirlenmiştir. Daha sonra MAUT yöntemi ile alternatifler değerlendirilerek makine seçimi yapılmıştır. Çalışma sonuçlarına göre CRITIC ve MAUT yöntemlerinin makine seçiminde bütünlük olarak uygulanabilir olduğu değerlendirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Çok Kriterli Karar Verme, CRITIC, MAUT, Düz Örgü Makinesi Seçimi.

\* Corresponding Author: [ekarakis@cumhuriyet.edu.tr](mailto:ekarakis@cumhuriyet.edu.tr)

## 1. Introduction

Businesses can ensure their continuity by constantly making profits and growing. Otherwise, they will have difficulty maintaining their presence in increasing global competition. A significant amount of capital is allocated for machinery and equipment, especially in production enterprises, and these fixed capital investments significantly affect operating profitability. For this reason, businesses make production plans, including planning machinery and equipment, to achieve low-cost and efficient production. Choosing a machine that will reduce costs and increase productivity when planning production is essential for ensuring operating profitability. In this context, the selection of machinery and equipment, transport vehicles, and other construction machinery used in production are extremely important and strategic decisions for enterprises.

The machine selection problem is one of the important decision-making problems for production companies. Incorrect machine selection can negatively affect the performance of the production system. The speed, quality, and cost of production depend significantly on the machines used. The machine selection decision is a difficult and long process, as well as requires advanced knowledge and expertise (Ertuğrul, 2007:171).

The choice of machines used in production is a situation that requires the consideration of numerous and contradictory criteria. Multi-Criteria Decision Making(MCDM) methods have been developed to solve decision problems where there are many and conflicting criteria. MCDM methods offer scientific and effective solutions to decision problems where there are many contradictory criteria. MCDM methods achieve the decision-

maker to choose the best alternative by optimizing multiple criteria(Zeydan etc, 2020:418-429).

In this study, the choice of a flat knitting machine for a textile enterprise was realized by CRITIC(CRiteria Importance Through Intercriteria Correlation) and Maut(Multi-Attribute Utility Theory) methods which are one of the MCDM methods.

In the study, the weights of the criteria were determined by the CRITIC method, alternatives were evaluated by the MAUT method and ranking and selection were made with the help of hand results. There are not many studies in the Turkish literature in which CRITIC and MAUT methods are used together. In addition, there are no studies using CRITIC and MAUT methods on textile machine selection in the literature. This study will contribute to the Turkish literature in this aspect.

This article is divided into five sections. After the introduction section containing information about the decision problem in the study, the second section contains a literature review. In the third section, the method of work and data are given and in the fourth section, the application of flat knitting machine selection is given. The results obtained in the last part of the study were examined and discussed.

## 2. Literature review

There are many studies in the literature on the selection of machines used in the production systems of companies. It is seen that CRITIC and MAUT methods are used in solving many decision problems, especially in the fields of engineering and social science. In the literature review section, firstly, studies in which CRITIC and MAUT methods are used together and together with different methods are included. These studies are shown in Table 1.

Table 1. Literature review on CRITIC, MAUT methods, and other MCDM methods.

Researcher	Year	Methods	Decision Problem
Bosovic et al.	2021	CRITIC and ARAS	Mobile network provider operator selection
Li et al.	2020	Fuzzy DEMATEL, Entropy, and VIKOR	Machine tool selection
Yürük and Orhan	2020	CRITIC, ENTROPİ and MAUT	Financial performance analysis of manufacturing industry sub-sectors
Vargün, Doğan and Bal	2020	MAUT	Personnel selection for the accounting unit
Orhan and Aytakin	2020	CRITIC, MAUT, and SAW	Comparison of the R&D performances of Turkey and the countries that recently joined the EU
Eş and Kocadağ	2020	ENTROPİ, MAUT and VIKOR	Supplier selection
Stirbanovic et al.	2019	VIKOR and TOPSIS	Evaluation of flotation machines
Yalçın and Karakaş	2019	CRITIC and EDAS	Corporate sustainability performance analysis for an energy company
Özdağoğlu and Çirkin	2019	OCRA, MAUT	Electronic device selection
Akın	2019	Entropy-ROV and CRITIC-ROV	Bed edge border sewing machine selection
Bulgurcu	2019	MAUT and CRITIC	Smartwatch selection
Ulutaş and Cengiz	2018	CRITIC and EVAMIX	Choosing a laptop for a business
Gunawan and Ramadhan	2018	MAUT	Performance evaluation of employees
Ulutaş	2017	EDAS	Choosing a sewing machine for a textile workshop

Adalı and Işık	2017	CRITIC and MAUT	Contract manufacturer selection
Chan, Suen, and Chan	2006	AHP and MAUT	Selection of resolution model in disputes
Özceylan, Kabak and Dağdeviren	2016	Fuzzy AAS and PROMETHEE	CNC machine selection
Wu, Ahmad, and Xu	2016	Fuzzy VIKOR	CNC machine tool selection
Ertuğrul and Öztaş	2015	MOORA and TOPSIS	Selection of Sewing machine
Diakoulaki, Mavrotas and Papayannakis	1995	CRITIC	Performance analysis of companies
Ertuğrul	2007	Fuzzy AHP	Machine selection in the textile business

### 3. Material and Method

This study aims to select a flat knitting machine for a textile company. The steps of the decision model applied in the study are shown in Figure 1.

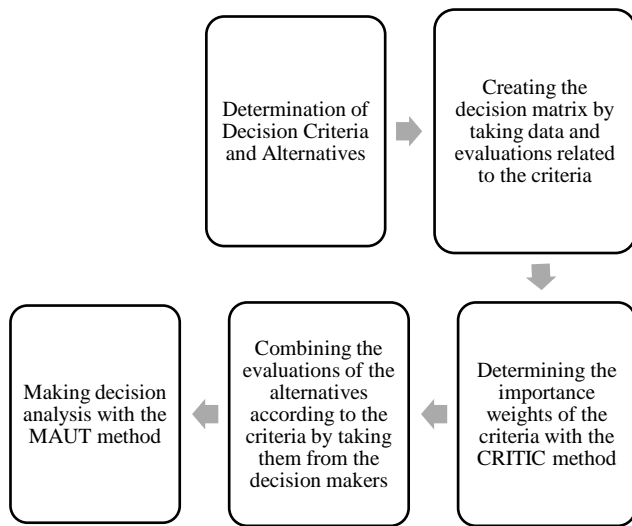


Figure 1. Steps of the decision-making process.

The criteria used in the study and effective in machine selection were determined as a result of literature review and expert opinions. The criteria that are effective in choosing a flat knitting machine are determined as price, the number of Saddle knitting, accessibility to the pattern programmer, accessibility to qualified employees who can use the machine, availability to spare parts, service speed, and facilities, energy consumption. Decision criteria consist of quantitative and qualitative criteria. The values obtained by alternatives according to quantitative criteria were obtained from the product promotion catalogs of the companies. The values related to the qualitative criteria were obtained by using the 1-7 Likert scale with the engineers and technical staff in the manager position of the manufacturing enterprises. It is important to demonstrate the advantages and disadvantages of flat knitting machines in practice that the values related to qualitative criteria are taken from expert technical personnel. The decision criteria used in choosing a flat knitting machine are encoded and given in Table 2.

Table 2. Criteria and weights of criteria in the flat knitting machine selection.

Code	Criteria	Nature of Criteria
K1	Price	Cost
K2	Number of saddle weaves	Benefit
K3	Access to pattern programmer	Benefit
K4	Access qualified personel to use the machine	Benefit
K5	Availability of spare parts	Benefit
K6	Service oppotunities	Benefit
K7	Energy Consumption	Cost

#### 3.1. CRITIC Method

The CRiteria Importance Through Intercriteria Correlation (CRITIC) method is a multi-criteria decision-making method developed by Diakoulaki et al. (1995). The CRITIC method is a recommended method for weighting criteria. The method is one of the objective weighting methods. In the CRITIC method, criteria are weighted according to the data in the decision matrix, without relying on expert opinions and decision-maker preferences. In this method, it uses the standard deviation values and correlation coefficients of the criteria to determine the relationships between the criteria. In the decision matrix, the values of the alternatives according to the quantitative criteria were obtained by measurement. The values that the alternatives will receive according to the qualitative criteria are obtained by the decision makers' evaluation of the alternatives according to the criteria. Evaluations obtained from matrix values according to qualitative criteria are obtained by transforming them into quantitative values. The steps of the CRITIC method can be shown as follows (Alinezhad and Khalili, 2019:199-201, Hassan, Kamal, Moniruzzaman, Zulkifli, and Yusop, 2015).

The first step in the CRITIC method is the generate of the decision matrix. The decision matrix in size of  $m \times n$ , which contains alternatives and criteria created by decision-makers, is also shown in Equation (1):

$$M = \begin{bmatrix} x_{11} & \dots & x_{1j} & \dots & x_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{i1} & \dots & x_{ij} & \dots & x_{in} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & \dots & x_{mj} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix}; \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

The  $x_{ij}$  value in the decision matrix shows the value taken by the alternative  $i$ . according to criterion  $j$ . After the decision matrix is created, The Matrix is normalized. The benefit qualified and cost qualified criteria in the decision matrix is normalized by the formula (2) and (3), respectively.

$$r_{ij} = \frac{x_{ij} - x_j^{\min}}{x_j^{\max} - x_j^{\min}} \quad (2)$$

$$r_{ij} = \frac{x_j^{\max} - x_{ij}}{x_j^{\max} - x_j^{\min}} \quad (3)$$

As a result of the calculation,  $r_{ij}$  values are normalized values of  $x_{ij}$  values. After the normalized decision matrix is created, the standard deviation is calculated with correlation coefficients between criteria so that the importance weights of the criteria can be calculated. The weights of the criteria are calculated by the formula (4).

$$w_j = \frac{C_j}{\sum_{i=1}^n C_j} ; \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

In the formula,  $w_j$  indicates the importance weight of criterion  $j$ , in other words, the degree of importance and priority.  $C_j$  indicates the index value of criterion  $j$ .

$$C_j = \sigma_j \sum_{k=1}^n (1 - p_{jk}) \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

In the formula (5), shows the standard deviation of criterion  $j$  and the correlation coefficient between the criteria. The standard deviation of each criterion is calculated by equation (6).

$$\sigma_j = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (x_{ij} - \bar{x})^2} ; \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (6)$$

$$p_{jk} = \frac{\sum_{i=1}^m (x_{ij} - \bar{x}_j)(x_{ik} - \bar{x}_k)}{\sqrt{\sum_{i=1}^m (x_{ij} - \bar{x}_j)^2 \sum_{i=1}^m (x_{ik} - \bar{x}_k)^2}} \quad (7)$$

In Equation (7) and indicates the average of the criteria.

### 3.2. MAUT Method

The MAUT method was developed by Keeney and Raiffa (1976). The method can be used to solve decision problems that have both quantitative and qualitative criteria. The Maut method is a method that analyzes alternatives based on benefit values derived from criteria. In the method, a utility value is calculated for each alternative according to the determined criteria. In the MAUT method, it is aimed that the alternatives obtain the highest total utility value and ranking is made according to these utility values. The application steps of the method can be summarized as follows. (Ishizaka and Nemery 2013; Alinezhad and Khalili, 2019; Tzeng and Huang, 2011).

First, the decision matrix is created.

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & \dots & x_{1j} & \dots & x_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{i1} & \dots & x_{ij} & \dots & x_{in} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & \dots & x_{mj} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix}_{m \times n} ; i = 1, 2, \dots, m, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (8)$$

In the decision matrix,  $x_{ij}$  indicates the value of the alternative  $i$  according to criteria  $j$ . After the decision matrix is created, the values of the alternatives for the utility criterion in the decision matrix are normalized with formula (9). The values of the alternatives for the cost-qualified criteria are normalized using the formula (10) shows the normalized values of the decision matrix.

$$r_{ij} = \frac{x_{ij} - x_{ij}^{\min}}{x_{ij}^{\max} - x_{ij}^{\min}} \quad (9)$$

$$r_{ij} = 1 + \frac{x_{ij}^{\min} - x_{ij}}{x_{ij}^{\max} - x_{ij}^{\min}} \quad (10)$$

After the decision matrix is normalized, the utility values of the alternatives are calculated. The utility values are calculated by equation (11).

$$U_i = \sum_{j=1}^n u_{ij} \cdot w_j ; \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (11)$$

The indicates the utility values and indicates the importance weight of the criterion  $j$ . The sum of the importance weights of the criteria is  $\sum W_j = 1$ . The utility values of the alternatives are sorted in descending order for the final ranking. The alternative with the highest total utility value is the best.

## 4. Application

In the application section, the CRITIC method was used in determining the weights of decision criteria for determining the most suitable machine, and the MAUT method was used in sorting and selecting alternatives. With the proposed CRITIC and MAUT integrated decision model, a survey was conducted with the engineers and technical staff of the companies operating in the textile sector to choose a flat knitting machine. A survey was conducted by interviewing a total of 40 experts in the positions of managers and technical personnel. With the literature review and interviews, 4 flat knitting machine brands were determined as an alternative. Electronic machines selected in the study were coded as M1, M2, M3, M4. Experts were asked to evaluate alternatives according to qualitative criteria. These criteria are "access to the pattern programmer", "finding qualified personnel to use the machine", "accessibility to spare parts and service possibilities". In the survey, experts were asked to evaluate the alternatives for these criteria on a 1-7 Likert scale. The decision matrix was formed by taking the arithmetic average of the expert evaluations. The values obtained by the alternatives according to the quantitative criteria of "price", "number of saddle weaves" and "electricity consumption" were obtained from the manufacturing companies. The decision matrix created is given in Table 3. Since the "price" (K1) and "electricity consumption" (K7) criteria in the decision matrix are cost criteria, the values of these criteria are desired to be the

smallest, while the benefit criteria are requested to have the highest value.

The correlation coefficients between the criteria are calculated by the formula (7).

Table 3. The Decision Matrix

	K1(\$)	K2	K3	K4	K5	K6	K7 (Kw)
M1	38,000	3	4,900	4,660	5,540	5,250	2,3
M2	32,500	2	6,030	5,950	6,300	6,270	1,2
M3	32,000	2	2,090	2,090	1,900	2,040	1,5
M4	16,500	3	2,090	1,750	1,610	1,800	0,6

After the decision matrix was created, the weights of the criteria were calculated with the CRITIC method. Equation (6) was used to calculate the standard deviation values. The normalized decision matrix is calculated with equality (2) and equality (3) and shown in Table 4.

Table 4. Standard deviation values of criteria and Normalized decision matrix

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
M1	0	1	0.713	0.692	0.837	0.771	0
M2	0.255	0	1	1	1	1	0.647
M3	0.279	0	0	0.080	0.061	0.053	0.470
M4	1	1	0	0	0	0	1
Std. Dev.	0.429	0.577	0.508	0.483	0.517	0.505	0.415

After calculating the normalized decision matrix and standard deviation values, the correlation matrix between the criteria was calculated and given in Table 5.

Table 5. The Correlation coefficients between criteria.

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
K1	1	0.312	-0.612	-0.645	-0.683	-0.659	0.902
K2	0.312	1	-0.162	-0.231	-0.124	-0.161	-0.081
K3	-0.612	-0.162	1	0.997	0.993	0.997	-0.409
K4	-0.645	-0.231	0.997	1	0.990	0.996	-0.421
K5	-0.683	-0.124	0.993	0.990	1	0.998	-0.510
K6	-0.659	-0.161	0.997	0.996	0.998	1	-0.466
K7	0.902	-0.081	-0.409	-0.421	-0.510	-0.466	1

After calculating the correlation coefficients between the criteria, the importance weights of the criteria were calculated by using the equation (3.4) and given in Table 6.

Table 6. Criteria and weights of criteria in the flat knitting machine selection.

Code	Criteria	Weight of Criteria
K1	Price	0,172
K2	Number of saddle weaves	0,202
K3	Access to pattern programmer	0,115
K4	Access qualified personel to use the machine	0,113
K5	Availability of spare parts	0,121
K6	Service oppotunities	0,117
K7	Energy Consumption	0,157

When the criteria weights are examined, it is seen that the importance weights of the criteria are close to each other and there is no big weighting difference between them. However, it is seen that the most important and priority criterion is the number of saddle knitting in flat knitting machines. In addition, it is seen that the criteria of accessibility to the pattern programmer, finding qualified personnel who can use the machine, and access to spare parts are very close to each other and less important in order of importance compared to other criteria. Price, the number of saddle weaves, and electricity consumption was the standout criteria.

After determining the criterion weights by the CRITIC method, the decision matrix was created for choosing a flat knitting machine among 4 brands by the MAUT method. The evaluation of alternatives by engineers, managers, and other technical personnel according to the criteria was combined by taking the arithmetic mean. The decision matrix created is shown in Table 7.

Table 7. The Decision Matrix

	K1(\$)	K2	K3	K4	K5	K6	K7(Kw)
M1	38,000	3	4,900	4,660	5,540	5,250	2,3
M2	32,500	2	6,030	5,950	6,300	6,270	1,2
M3	32,000	2	2,090	2,090	1,900	2,040	1,5
M4	16,500	3	2,090	1,750	1,610	1,800	0,6
Min	16,500	2	2,090	1,750	1,610	1,800	0,6
Max	38,000	3	6,030	5,950	6,300	6,270	2,3

After determining the objective weights of the criteria, the MAUT method was used for the selection of a flat knitting machine. The decision matrix is normalized using equations (9) and (10). The normalized decision matrix is given in Table 8.

Table 8. Normalized decision matrix according to the MAUT method.

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
M1	0	1	0.713	0.692	0.837	0.771	0
M2	0.255	0	1	1	1	1	0.647
M3	0.279	0	0	0.080	0.061	0.053	0.470
M4	1	1	0	0	0	0	1

After obtaining the normalized matrix, the total utility values for each alternative were calculated with the equation (11). The utility values of the alternatives are shown in Table 9.

Table 9. Benefit Matrix weighted by CRITIC method.

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
M1	0	0.202	0.082	0.078	0.101	0.090	0
M2	0.044	0	0.115	0.113	0.121	0.117	0.101
M3	0.048	0	0	0.009	0.007	0.006	0.074
M4	0.172	0.202	0	0	0	0	0.157

The total utility values for the alternatives are obtained by summing the utility values calculated according to each criterion. The calculated total utility values and ranking of the alternatives according to their total utility values are shown in



Table 10. M2 machine was determined as the best alternative in the ranking made according to the MAUT method. The machines are listed as M2, M1, M4, M3, starting from the best.

Table 10. Ranking of flat knitting machines according to the CRITIC-weighted MAUT method.

Machines	Total utility values	Ranking
M1	0.555	2
M2	0.614	1
M3	0.145	4
M4	0.531	3

## 5. Results and Discussion

Decision-making is the process of choosing the most suitable one from among the alternatives. The first step in making the right decision is to define the decision problem and design the process. Decisions can be classified from a variety of care. It is possible to classify decisions as long-term decisions and short-term decisions in terms of the duration of the decision's impact, in other words, its maturity. From this point of view, constant capital investment decisions in companies are expressed as long-term decisions. Decisions to purchase constant assets, such as machinery and equipment, which are expressed as constant capital investments in companies, are decisions of a strategic nature for companies. The main reason that fixed capital investment decisions are characterized as strategic is that they are the basic requirement of low-cost and efficient production. Second, constant capital investment decisions are rarely decisions made, unlike working capital decisions, and are not open to changes and corrections. For this reason, machine purchase decisions involving long-term investments should be analyzed using scientific and appropriate methods and should be true. In this context, it is seen that decisions to purchase flat knitting machines for textile enterprises are strategic and long-term decisions.

Decision problems that require the consideration of a large number of contradictory criteria are solved by multi-criteria decision-making methods. The profitability and continuity of the business need to decide to purchase flat knitting machines with the problem of MCDM using scientific methods. In this study, the most suitable flat knitting machine was selected with CRITIC and MAUT methods, which are among the multi-criteria decision-making methods for a textile company. The selection of a flat knitting machine is a decision problem in which many conflicting criteria are effective. In this study, the importance weights of the criteria were determined by the CRITIC method, and the machine selection and evaluation were made with the MAUT method. In the study, the best of 4 flat knitting machines were determined according to 7 criteria evaluation criteria, 4 of which were qualitative and 3 of which were quantitative. According to the ranking made by the MAUT method, the M' machine was determined as the best alternative. The machines are listed as M2, M1, M4, M3, starting from the best.

## 6. Conclusions and Recommendations

CRITIC method is characterized as objective weighting method. The method uses values in the decision matrix without the need for expert or decision-maker opinions when determining the importance weights of criteria. As with the

criteria affecting the decision of choosing a flat knitting machine, the situation may arise when the decision criteria in decision problems cannot be determined in terms of their superiority over each other in terms of their weight of importance. In such cases, the CRITIC method seems to provide a solution by overcoming the uncertainty experienced in weighting. In this sense, according to the results of the study, it was concluded that the CRITIC method is a method that provides an objective solution, taking into account the uncertainty experienced in setting the priorities of two or more criteria. The Maut method used in sorting alternatives in the study evaluates alternatives based on the total benefit function. In the method, the total benefit value is reached by collecting the calculated benefit values for alternatives according to each criterion. According to the results of the study, it was concluded that the Maut method is an easy-to-understand and viable method. It was concluded that CRITIC and MAUT methods used in the study are integrated methods that can be used to solve machine selection problems. As with the machine purchase problem, making comparisons using different MCDM methods in solving decision problems that involve uncertainty in determining criterion weights will enrich the literature and contribute.

## References

- Akın, N. G. (2019). Makine Seçimi Probleminde ENTROPİ - ROV ve CRITIC - ROV Yöntemlerinin Karşılaştırılması. Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 62, 20–39.
- Alinezhad, A. & Khalili, J. (2019). New Methods and Applications in Multiple Attribute Decision Making (MADM). International Series in Operations Research and Management Science
- Bošković, S., Radonjić-djogatović, V., Ralević, P. & Dobrodolac, M., Jovcic S.,(2021). Selection Of Mobile Network Operator Using The CRITIC-ARAS Method, International Journal for Traffic and Transport Engineering11(1), 17–29.
- Bulğurcu, B. (2019). Çok Nitelikli Fayda Teorisi ile CRITIC Yöntem Entegrasyonu: Akıllı Teknoloji Tercih Örneği. OPUS Uluslararası Toplum Araştırmaları Dergisi, 13(19), 1931–1951.
- Chan, E. H., Suen, H. C., & Chan, C. K. (2006). MAUT-based dispute resolution selection model prototype for international construction projects. Journal of construction engineering and management, 132(5), 444–451.
- Diakoulaki, D., Mavrotas, G. & Papayannakis, L. (1995). Determining objective weights in multiple criteria problems: The critic method. Computers and Operations Research, 22(7), 763–770.
- Ertuğrul, İ., & Öztaş, T. (2015). The application of sewing machine selection with the multi-objective optimization on the basis of ratio analysis method (MOORA) in apparel sector. Textile and Apparel, 25(1), 80–85.
- Ertuğrul, İ. (2007). Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci ve Bir Tekstil İşletmesinde Makine Seçim Problemine Uygulanması. H.Ü. İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 25(1), 171–192.
- Eş, A. & Kocadağ, D. (2020). Entropy Tabanlı MAUT ve VIKOR Yöntemleriyle Tedarikçi Seçimi: Bir Kamu Kurumu Örneği. Celal Bayar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 18, 265–280.
- Hassan, N., Kamal, Z., Moniruzzaman, A. S., Zulkifli, S. & Yusop, B. (2015). Weighting Methods and their Effects on

- Multi-Criteria Decision Making Model Outcomes in Water Resources Management. Springer.
- Tzeng, G.-H. & Huang J.-J. (2011). *Multiple Attribute Decision-Making Methods and Applications*. CRC Press Taylor & Francis Group.
- Ishizaka, A. & Nemery, P. (2013). *Multi-Criteria Decision Analysis*. Wiley.
- Li, H., Wang, W., Fan, L., Li, Q. & Chen, X. (2020). A novel hybrid MCDM model for machine tool selection using fuzzy DEMATEL, entropy weighting, and later defuzzification VIKOR. *Applied Soft Computing Journal*, 91, 106207.
- Orhan, M., & Aytekin. M. (2020). Türkiye İle AB'ye Son Katılan Ülkelerin Ar-Ge Performanslarının CRİTİC Ağırlıklı MAUT VE SAW Yöntemiyle Kıyaslanması. *Business & Management Studies: An International Journal*, 8(1), 754–778.
- Özceylan, E., Kabak, M., & Dağdeviren, M. (2016). A fuzzy-based decision-making procedure for machine selection problem. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 30(3), 1841-1856.
- Özdağoğlu, A. & Çirkin, E. (2019). Electronic Device Selection in Industrial Products and Machinery Industry: Comparative Analysis With Ocr and Maut Method. *International Journal of Contemporary Economics and Administrative Sciences*, 9(1), 119–134.
- Stirbanovic, Z., Stanujkić, D., Miljanović, I. & Milanović, D. (2019). Application of MCDM methods for flotation machine selection. *Minerals Engineering*, 137(April), 140–146.
- Ulutaş, A. (2017). EDAS Yöntemi Kullanılarak Bir Tekstil Atölyesi İçin Dikiş Makinesi Seçimi - Sewing Machine Selection for a Textile Workshop by Using EDAS Method. *Journal of Business Research - Turk*, 9(2), 169–183.
- Ulutaş, A., & Cengiz, E. (2018). CRITIC ve EVAMIX Yöntemleri İle Bir İşletme İçin Dizüstü Bilgisayar Seçimi. *Journal of International Social Research*, 11(55).
- Ulutaş, A. (2017). EDAS Yöntemi Kullanılarak Bir Tekstil Atölyesi İçin Dikiş Makinesi Seçimi - Sewing Machine Selection for a Textile Workshop by Using EDAS Method. *Journal of Business Research - Turk*, 9(2), 169–183.
- Vargün, H., & Doğan. M. (2020). Muhasebe Birimi Personel Seçim Problemi: Entropi Temelli Maut Yöntemi Uygulaması. *Mali Çözüm İSMMO*, 30(162), 177–191.
- Wu, Z., Ahmad, J., & Xu, J. (2016). A group decision-making framework based on fuzzy VIKOR approach for machine tool selection with linguistic information. *Applied Soft Computing*, 42, 314-324.
- Yalçın, N. & Karakaş, E. (2019). Kurumsal Sürdürülebilirlik Performans Analizinde CRITIC-EDAS Yaklaşımı CRITIC-EDAS Approach in Corporate Sustainability Performance Analysis. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 34(December), 147–161.
- Yürük, M. F. & Orhan, M. (2020). CRITIC ve ENTROPİ Temelli MAUT Yöntemi ile İmalat Sanayi Alt Sektörlerinin Finansal Performanslarının Analizi. *Munzur Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 9(2), 151–172.
- Zeydan, M., Bostancı, B., Oralhan, B., Eroğlu, D., & Aydın, U. (2020). Mekânsal Bulanık Karar Destek Sisteminin Geliştirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 418-429.



# Optimization of Gluten-Free Cake Formulations Special to Celiac Patients Using Different Types and Amount of Gluten-Free Flours

Halime Pehlivanoglu<sup>1</sup>, Ervanur Karasu<sup>2</sup>, Esra Nur Yasa<sup>2</sup>, Kubra Gokduman<sup>2</sup>, Hamide Feyza Bardakci<sup>2</sup> Mehmet Demirci<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Namık Kemal University, Veterinary Faculty, Food Hygiene and Technology, Tekirdağ/TURKEY, (ORCID: 0000-0003-3138-9568), [hpehlivanoglu@nku.edu.tr](mailto:hpehlivanoglu@nku.edu.tr)

<sup>2</sup> Istanbul Sabahattin Zaim University, Department of Food Engineering, Istanbul/Turkey, [ervakarasuu@gmail.com](mailto:ervakarasuu@gmail.com)

<sup>2</sup> Istanbul Sabahattin Zaim University, Department of Food Engineering, Istanbul/Turkey, [esranuryasa@hotmail.com](mailto:esranuryasa@hotmail.com)

<sup>2</sup> Istanbul Sabahattin Zaim University, Department of Food Engineering, Istanbul/Turkey, [kbragkdmn@gmail.com](mailto:kbragkdmn@gmail.com)

<sup>2</sup> Istanbul Sabahattin Zaim University, Department of Food Engineering, Istanbul/Turkey, [feyzabardakci@gmail.com](mailto:feyzabardakci@gmail.com)

<sup>2\*</sup> Istanbul Sabahattin Zaim University, Department of Food Engineering, Istanbul/Turkey, (ORCID: 0000-0002-4394-9852), [mehmet.demirci@izu.edu.tr](mailto:mehmet.demirci@izu.edu.tr)

(First received 15 September 2021 and in final form 30 November 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.994986)

**ATIF/REFERENCE:** Pehlivanoglu, H., Karasu, E., Yasa, E. N., Gokduman, K., Bardakci, H. F. & Demirci, M. (2021). Optimization of Gluten-Free Cake Formulations Special to Celiac Patients Using Different Types and Amount of Gluten-Free Flours. *European Journal of Science and Technology*, (27), 849-857.

## Abstract

The present study aimed to produce gluten-free salty cakes for celiac patients and enhance their functionality by using different nutritionally rich flours. For this purpose, ten different cake formulations were prepared using gluten-free flours, including buckwheat, rice, corn, chickpea, and quinoa flour either as alone or mixture. Physicochemical properties of doughs and final products were analyzed and compared to the control. While viscosity, density, pH, and rheological analysis were conducted in dough samples, color, textural and sensory properties, and mass, volume, baking loss, ash, and moisture analysis were performed in the cakes. Corn cake was found to be the closest sample to control in many sensorial properties, rice cake was found to be the closest in interior color parameters. Regarding dough analysis, the viscosity of chickpea was found to be higher than those of other samples. While the volume of corn dough was the highest, weight was found to be the highest in mixture 1 sample. G' and G'' values of quinoa dough were the highest.

**Keywords:** celiac disease, salty cake, gluten-free, functional foods.

## Farklı Tip ve Miktarda Glutensiz Un Kullanılarak Çölyak Hastalarına Özel Glutensiz Kek Formülasyonlarının Optimizasyonu

### Öz

Bu çalışmada çölyak hastalarına özel glutensiz tuzlu keklerin üretilmesi ve hamur üretiminde besleyici özelliği yüksek farklı glutensiz unlar ile de fonksiyonelliği artırmak amaçlanmıştır. Bu amaçla, karabuğday, pirinç, mısır, nohut ve kinoa unları tek başına ya da karışım olarak kullanılarak on farklı kek formülasyonu hazırlanmıştır. Hamur ve son ürünün fizikokimyasal özellikleri belirlenerek kontrol ile kıyaslanmıştır. Hamurlarda viskozite, yoğunluk, pH ve reolojik analizler yapılırken, keklerde renk, dokusal ve duyuşal özellikler ile kütle, hacim, pişme kaybı, kül ve nem analizleri yapılmıştır. Mısır unu içeren kek birçok duyuşal özellikte kontrole en yakın örnek olurken, pirinç keki ise iç renk parametrelerinde kontrole en yakın örnek olarak bulunmuştur. Hamurlarda yapılan analizlerde nohutun viskozitesi diğer numunelere göre daha yüksek bulunmuştur. Mısır unu hamurunun hacmi en yüksek iken, ağırlık en yüksek karışım 1 örneğinde bulunmuştur. En yüksek G' ve G'' değerleri kinoa hamurunda ölçülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Çölyak, tuzlu kek, glutensiz, fonksiyonel gıdalar.

\* Corresponding Author: [mehmet.demirci@izu.edu.tr](mailto:mehmet.demirci@izu.edu.tr)

## 1. Introduction

Celiac disease is one of the most common (0.5-1% of the general population) autoimmune diseases caused by gliadin and similar prolamins present in gluten abundant in wheat, rye, and barley (Radlović, 2013; Caio et al., 2019). The significant finding in the diagnosis of celiac is gluten-sensitive enteropathy, which can be explained as the inflammation of the small intestines (Macho et al., 2020). This inflammation destroys the small intestine mucosa and causes malabsorption of essential nutrients, including fat-soluble vitamins, folic acid, calcium, and iron (Arslan et al., 2019). The only way to inhibit celiac disease is a lifelong gluten-free diet (Norouzbeigi et al., 2020).

Gluten is an alcohol-soluble protein found in grains such as wheat, barley, rye, etc. (Palabiyik et al., 2016; Caio et al., 2019). Gluten mainly consists of soluble monomeric gliadins and insoluble glutenins. In the dough structure, while the gliadin is responsible for the viscous behavior, glutenin is responsible for the elastic behavior (Tang et al., 2019). Cakes are one of the most consumed bakery products all over the world. Wheat flour is one of the main ingredients of cake dough (Pehlivanoglu et al., 2018).

With the increasing demand for the gluten-free lifestyle (Yildiz et al., 2017), manufacturers focused on producing different gluten-free bakery products using gluten-free flours, starches, hydrocolloids, gums, emulsifiers, etc. (Bourekoua et al., 2016). Gluten-free sources for gluten-free bakery products include buckwheat, rice, quinoa, corn, chickpea, etc. These grains are gluten-free and rich in nutritional components (Moreno et al., 2014).

In the present study, cakes were produced for celiac patients using gluten-free buckwheat, rice, corn, chickpea, and quinoa flours either by each one or by mixing them in different amounts. The purpose was to make the cake having the most desirable properties by comparing the dough formulations prepared and the final product made with these formulations with the reference dough formulations and cake samples.

## 2. Material and Method

### 2.1. Material

Buckwheat, rice, corn, chickpea, quinoa flours, and wheat flour (WF) as the controlling flour used in the cake formulations were provided from the local market by verifying their ingredients. Emulsifiers, citric acid anhydride, demineralized whey powder (DWP), sodium bicarbonate, sodium acid pyrophosphate (SAPP 28), cake fat, eggs, fat-free milk powder, fructose syrup, water, salt, and sugar were supplied by Elvan Food Industry and Trade Inc.

Cake Formulations: Flour type and percentage used in cake production were given in Table 1.

### 2.2. Methods

#### 2.2.1. Production of Cakes

Dough composition was 35% flour mix, 1% emulsifier, 0.04% citric acid anhydride, 0.5% DPST, 0.18% sodium bicarbonate, 0.24% SAPP, 20% cake fat, 23% egg, 0.5% skimmed milk powder, 1.6% fructose syrup, 9% water, 1.2% salt, 5.3% sugar. Sugar and eggs were mixed in the highest speed

for 35-40 seconds. Water, skim milk powder, emulsifier, oil, fructose syrup and citric acid anhydride were added and mixed for 2 minutes at maximum speed. After that, flour, salt, sodium bicarbonate, SAPP, DPST were added and mixed for 2 minutes at maximum speed. Cake baking molds were greased with spray oil, placed at 40 grams per whole. All samples were prepared in the same procedure, then baked in the preheated oven at 170 °C for 6 min with fan, at 160 °C with no fan for 6 min twice.

#### 2.2.2. Protein content of flour samples

AACC 46-10 Kjeldahl method was used for protein analysis (AOAC 2000, methods 992.23). A Behr brand with 53005 (Ukraine) model number Semi-Automatic Kjeldahl Distillation Unit was used. Flour samples around 1 g were weighed and put into the digestion flask. A catalyst tablet and 25 ml H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> were added to each tube. The burning process was performed for 30 minutes after the color turned light green and the tubes were left to cool down. 25 ml 4% boric acid solution and 5-6 drops of indicator solution were added into 250 ml Erlenmeyer. Then, the distillation process was started. After distillation, samples were titrated with 0,1 N HCl solution.

#### 2.2.3. Analysis Applied to Doughs

##### 2.2.3.1. Viscosity

The viscosity analysis of the dough was conducted by Brookfield DVII Viscometer (USA). The study was performed by adjusting the heating and cooling cycles of the device. After being kept at 50 °C for a minute, the temperature was raised to 95 °C in 3 and a half minutes, and samples were held at this temperature for two and a half minutes. Then, it was cooled down to 50 °C in 3 and a half minutes and kept at this temperature for 2 minutes (Sakiyanet al., 2009).

##### 2.2.4. Density

The density measurements of the cake mixture were calculated by determining the weight of the dough formulations and by dividing the weight of the dough with the weight of the water in the same container (1 g water=1 ml water).

##### 2.2.5. Rheological Properties

Before frequency sweep tests, an amplitude sweep test was performed in the range of 0.1 and 100 % strain to determine the linear viscoelastic region. 0.03% was the strain value used in frequency sweep tests. Angular velocity values for the frequency sweep tests were between 0.628 and 62.8 rad/s. Regarding viscoelastic values, storage modulus (G'), loss modulus (G''), complex modulus (G\*), complex viscosity (η\*) and tan δ were calculated using the following equations (Rao and Cooley, 1992; Yoo and Rao, 1996).

$$G' = K' \omega^n \quad (2)$$

$$G'' = K'' \omega^n \quad (3)$$

$$\eta^* = K^* \omega^{n-1} \quad (4)$$

##### pH Determination

pH determination of the dough formulations was conducted by a calibrated pH meter (Testo hand-held, Germany).

### 2.3. Analysis Applied to the Cakes

#### 2.3.1. Mass and Volume

The mass and volume measurements of the cake were measured using the rapeseed displacement method. The mass measurements in grams were determined right after the cake came out of the oven. Specific volume values were calculated according to the results gathered on mass and volume (AACC, Method 10-05.01).

**2.3.2. Determination of Baking Loss**

Determination of baking loss was calculated by the weight difference between uncooked doughs and cooked cakes.

**2.3.3. Ash Content**

Ash determination has been done in the ash oven (MagmaTherm, MT 1105, Turkey) at 600 °C for 6 hours until it has a greyish color (AACC Method 08-01).

**2.3.4. Moisture Content**

Moisture analysis was performed by drying the cake samples in between around 105-135 oC in a drying oven (Mettler, UNB 400, Germany) until they were brought to constant weight. The samples were weighed before and after the drying process, and their moisture content was determined (AACC Method 44-19).

**2.3.5. Color Analysis**

The color determination of cake samples was conducted with a colorimeter device (Konica-Minolta, CR400, Japan). After the device's calibration, L\*, a\*, and b\* values were

recorded. According to the Hunter system used in color determination, L\* value shows the whiteness and blackness of the color while the a\* value represents the transition from red to green, and the b\* value is for the transition from yellow to blue (Salehi & Kashaninejad, 2015).

**2.3.6. Textural Properties**

The textural properties of cake samples were determined using a Texture Analyzer (Brookfield texture Analyzer, USA) with a 20-mm diameter prob (20 mm height). Stiffness, deformation in stiffness, cohesive force, stickiness, fiber length, cohesiveness, flexibility, gumminess, chewiness parameters were examined (Ghaboos et al., 2018).

**2.4. Sensory Properties**

Sensory properties were measured using the hedonic scale by 10 experienced panelists. The cake samples were evaluated out of 6 in terms of appearance, texture, smell, taste while eating, taste after eating, and overall acceptance.

**2.5. Statistical Analysis**

Physical, chemical, and sensory characteristic data of samples in the study were evaluated with a one-way analysis of variance (one-way ANOVA) using the JMP Pro software package. The difference between significant averages resulting from the analysis was tested at a level of p<0.05 via Tukey's multiple comparison test (Abdi and Williams, 2010).

Table 1. Flour composition of cakes

Flour	BWF	CF	RF	CPF	QF	WF	M1	M2	M3	M4
BWF	100%	-	-	-	-	-	20%	30%	30%	10%
CF	-	100%	-	-	-	-	20%	10%	20%	20%
RF	-	-	100%	-	-	-	20%	30%	20%	30%
CPF	-	-	-	100%	-	-	20%	10%	10%	10%
QF	-	-	-	-	100%	-	20%	20%	20%	30%
WF	-	-	-	-	-	100%	-	-	-	-

BWF: buckwheat flour; CF: corn flour; RF: rice flour; CPF: chickpea flour; QF: quinoa flour; WF: wheat flour; M1: mix1; M2: mix2; M3: mix3; M4: mix4

**3. Results and Discussion**

**3.1. Analyses Done on Dough Formulations**

**3.1.1 The Rheological Properties of Dough Formulations**

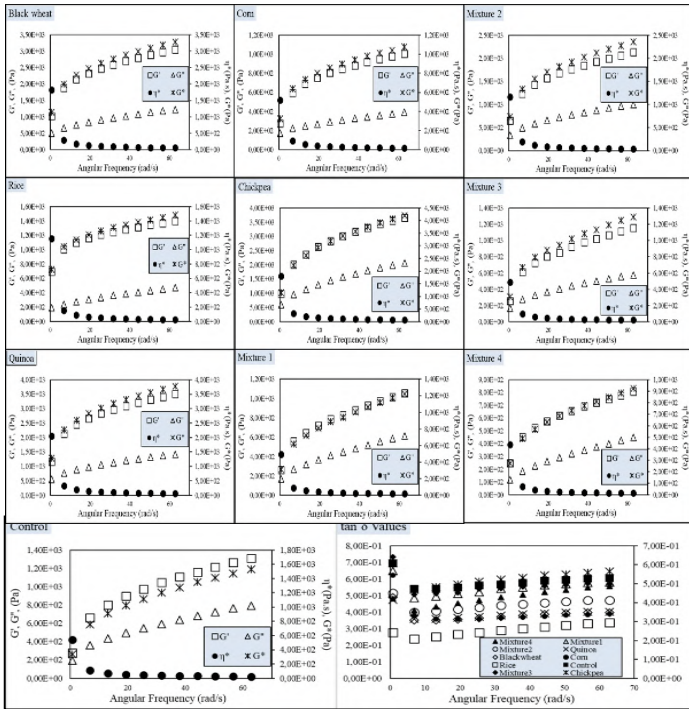
The viscoelastic properties of dough formulation samples were determined after oscillation measurement results. Storage (G'), loss (G''), and complex viscosity (η) values were identified as a function of angular velocity and were given in Figure 1. As seen in the results of viscoelastic measurements, storage modulus was found to be higher than loss modulus in all the samples. This

was an indication that the elasticity was more dominant than the viscosity in all the samples. Besides, there was a noticeable decrease in the viscosity with the increasing angular velocity. This demonstrated that all the samples had the shear thinning property. It was concluded that the dough samples made with the BWF had the highest G'. G' values of the mixtures 1, 3, 4, and WF samples were quite alike, and the mixtures 1, 3, 4, and the control samples showed similar rheological properties. The dough formulations with the high G' and G'' values might most likely be costly since they would require a great deal of energy in kneading and shaping processes.

Another parameter that informs us about dough processability is  $\tan \delta$ . This value is acquired with the ratio of the viscous module to the elastic one ( $G''/G'$ ) and gives information about the relative elasticity of the material (Peyronel & Campos, 2012). As seen in Figure 1, the RF sample had the lowest  $\tan \delta$  value while the control dough formulation had the highest. A high  $\tan \delta$  value suggests that the sample is more prone to mechanical development. As it is understood from the results, the closest value to the control (WF) sample was the M1 sample.

Figure 1. Viscoelastic properties of cakes dough samples

3.1.2. The Viscosity Parameters of the Dough



Formulations

The viscosity values were given in Figure 2. In all the cake samples, the viscosity decreased between 1 to 5 minutes, whereas it was observed that it slightly increased between 5 to 10 minutes. In a study, Rahmati (2014) determined the viscosity value of cake samples made with wheat flour as 1,57 g/s.

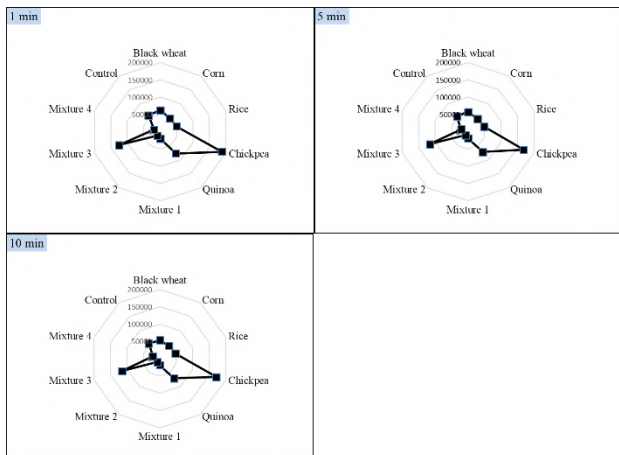


Figure 2. Viscosity analysis values

3.1.3. Protein, Density, and pH Values of Doughs

The results of the protein, density, and pH analyses are shown in Table 2. The highest density rate was seen on the e-ISSN: 2148-2683

WF cake with 1,0506, while the lowest was in the RF cake mixture with 0,8912. In a study, Malek (2013) determined the density level of a dough formulation made with the WF as 0.64 – 0.96 g/cm<sup>3</sup>, whereas Yıldız (2002) found it between 0.78–0.80 g/cm<sup>3</sup>. Akbas (2009), on the other hand, indicated that it was 0.82 – 0.90 g/cm<sup>3</sup>. It was seen that the results of our samples and the ones of the literature review had shown similarities along with very few differences. One reason for this difference was predicted to arise from the ratios of the raw material used and the dry matter of cakes. Regarding protein contents of samples, CPF was found to be the highest while CF was the lowest.

Table 2. Protein, density and pH value in cake dough

Cake dough	Protein (%)	Density (g/cm <sup>3</sup> )	pH
BWF	13,76±0,0694	1,0287 <sup>c</sup>	6,2 <sup>cde</sup>
CF	6,18±0,1223	1,0375 <sup>b</sup>	6,3 <sup>bc</sup>
RF	9,58±0,2132	0,8912 <sup>h</sup>	6,4 <sup>ab</sup>
CPF	24,73±0,3054	0,9834 <sup>f</sup>	6,2 <sup>bcd</sup>
QF	14,63±0,0619	0,9219 <sup>g</sup>	6,2 <sup>cde</sup>
M1	13,77	1,0171 <sup>d</sup>	6,4 <sup>ab</sup>
M2	13,01	0,9938 <sup>e</sup>	6,1 <sup>de</sup>
M3	12,67	1,0463 <sup>a</sup>	6,1 <sup>e</sup>
M4	12,34	0,9275 <sup>g</sup>	6,1 <sup>e</sup>
WF	12,19±0,5871	1,0506 <sup>a</sup>	6,5 <sup>a</sup>

BWF: buckwheat flour; CF: corn flour; RF: rice flour; CPF: chickpea flour; QF: quinoa flour; WF: wheat flour; M1: mix1; M2: mix2; M3: mix3; M4: mix4

3.2. The Analyses Performed on Cake Samples

3.2.1. The determination of the amount of volume, weight, moisture, and ash on cake samples

The cake analyses on volume, weight, moisture and ash content were given in Table 3. By percentage, the moisture ratio was the highest in the BWF cake with 25,19, whereas it was the lowest on the M3 cake. It was observed that the QF cake had the highest ash content value by percentage with 2,947, while the lowest was the BWF cake with 2,179. This observed difference is thought to derive from the different mineral matter contents of flours used. Volumes were found to be between 32,7-39,3. The highest volume value belongs to the CF.

Table 3. Cake volume, weight, moisture and ash values

Cake	Volume (ml/gr)	Weight (g)	Moisture (%)	Ash (%)
BWF	38,35 <sup>bc</sup>	39,55 <sup>ab</sup>	25,19 <sup>a</sup>	2,179 <sup>e</sup>
CF	39,3 <sup>a</sup>	39,4 <sup>b</sup>	23,68 <sup>c</sup>	2,274 <sup>de</sup>
RF	36,55 <sup>e</sup>	37,8 <sup>d</sup>	24,84 <sup>ab</sup>	2,72 <sup>b</sup>
CPF	33 <sup>g</sup>	35,34 <sup>g</sup>	21,47 <sup>e</sup>	2,335 <sup>d</sup>
QF	38,2 <sup>bc</sup>	39,5 <sup>ab</sup>	23,15 <sup>d</sup>	2,947 <sup>a</sup>
M1	37,9 <sup>cd</sup>	38,49 <sup>c</sup>	22,61 <sup>d</sup>	2,463 <sup>c</sup>
M2	39,15 <sup>b</sup>	39,67 <sup>a</sup>	24,05 <sup>bc</sup>	2,716 <sup>b</sup>
M3	32,7 <sup>g</sup>	36,9 <sup>e</sup>	21,02 <sup>e</sup>	2,695 <sup>b</sup>
M4	37,65 <sup>de</sup>	38,6 <sup>c</sup>	23,83 <sup>c</sup>	2,416 <sup>d</sup>

WF	35,25 <sup>f</sup>	35,95 <sup>f</sup>	22,79 <sup>d</sup>	2,691 <sup>b</sup>
----	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------

BWF: buckwheat flour; CF: corn flour; RF: rice flour; CPF: chickpea flour; QF: quinoa flour; WF: wheat flour; M1: mix1; M2: mix2; M3: mix3; M4: mix4

**3.2.2. The Baking Loss Values of the Cake Samples**

As shown in Table 4, after 1-hour rest, the highest loss was found in the CPF cake with 14,91%, while the lowest was M2 with 2,17%. The baking loss value of WF was the second, close to the highest.

Table 4. Cake cooked loss values (initial: 40 g)

Cake	1 hour rested cake weight (g)	Loss of cookware (g)	Loss of cookware (%)
BWF	38,5 <sup>bc</sup>	1,5 <sup>gh</sup>	3,9 <sup>h</sup>
CF	38,2 <sup>cd</sup>	1,8 <sup>g</sup>	4,71 <sup>g</sup>
RF	36,6 <sup>e</sup>	3,4 <sup>d</sup>	9,29 <sup>d</sup>
CPF	34,81 <sup>g</sup>	5,19 <sup>a</sup>	14,91 <sup>a</sup>
QF	38,6 <sup>ab</sup>	1,4 <sup>h</sup>	3,63 <sup>h</sup>
M1	37,95 <sup>d</sup>	2,05 <sup>f</sup>	5,4 <sup>f</sup>
M2	39,15 <sup>a</sup>	0,85 <sup>i</sup>	2,17 <sup>i</sup>
M3	36,2 <sup>f</sup>	3,8 <sup>c</sup>	10,5 <sup>c</sup>
M4	37,55 <sup>d</sup>	2,45 <sup>e</sup>	6,52 <sup>e</sup>
WF	35,5 <sup>f</sup>	4,5 <sup>b</sup>	12,68 <sup>b</sup>

BWF: buckwheat flour; CF: corn flour; RF: rice flour; CPF: chickpea flour; QF: quinoa flour; WF: wheat flour; M1: mix1; M2: mix2; M3: mix3; M4: mix4

**3.2.3. Color Values of Cake Samples**

The color analyses were given in Table 5 (Cake pictures were also given in figure 5). In Hunter L a b System, the value L shows the brightness while L=0 represents the blackness and L=100, the whiteness. In addition, the values +a, -a, +b, and -b correspond to the redness, the greenness, the yellowness, and the blueness, respectively. The inner color brightness of the cakes was found the brightest in the RF cake. Compared to the other cakes, the inner color of the BWF cake was more like red. The inner color of the WF cake, on the other hand, was rather more similar to the green than other cakes. While the yellowest cake was the CF, the closest color to blue was on the BWF cake.

The highest brightness value of the exterior color was detected in the WF cake. The outside of the BWF cake was more reddish, and the WF cake was more greenish compared to other cake samples. The outside of the CF cake was the yellowest, while the M3 one was closer to blue. In a study, Malek (2013) revealed the following figures on cake formulations made with roasted wheat flour for outer color as L (Lightness-darkness): 53.69, +a (red): 15.82, +b(yellow) %: 26.49; and for inner color as L:73.85, +a:-1.64 and +b: 19,83. In a different study, Majzoobi et al. (2014) found the outer color values of the WF cake as L: 40.3, a: 9.7, b: 26.6, and the inner color values as L: 68.0, a: -4.7, b: 42.0. When compared with our study, the WF cake sample had similar values. However, the outer color results of both studies differed a great deal, presumably owing to the formulations.

Table 5. Cake interior and cake crust color values

cake interior color	cake crust color
---------------------	------------------

Cake	L	a	b	L	a	b
BWF	53,68 <sup>+0,8700</sup>	3,95 <sup>+0,0800</sup>	21,04 <sup>+0,0500</sup>	52,45 <sup>+0,8488</sup>	12,66 <sup>+1,4076</sup>	36,80 <sup>+0,9385</sup>
CF	71,38 <sup>+0,3850</sup>	-1,58 <sup>+0,1300</sup>	45,23 <sup>+0,6650</sup>	69,15 <sup>+0,6093</sup>	5,88 <sup>+1,9069</sup>	54,84 <sup>+0,6574</sup>
RF	77,49 <sup>+0,4100</sup>	-2,18 <sup>+0,650</sup>	32,07 <sup>+0,0200</sup>	66,16 <sup>+2,9559</sup>	10,87 <sup>+2,8778</sup>	49,26 <sup>+1,8077</sup>
CPF	69,98 <sup>+0,6150</sup>	0,47 <sup>+0,1150</sup>	41,07 <sup>+0,2150</sup>	73,68 <sup>+1,6251</sup>	5,79 <sup>+1,6580</sup>	42,82 <sup>+0,8448</sup>
QF	61,01 <sup>+0,8100</sup>	2,09 <sup>+0,1050</sup>	30,65 <sup>+0,1550</sup>	62,53 <sup>+1,6795</sup>	6,91 <sup>+1,1721</sup>	38,61 <sup>+0,8535</sup>
M1	69,35 <sup>+1,2750</sup>	1,00 <sup>+0,2800</sup>	34,76 <sup>+1,3550</sup>	65,33 <sup>+1,5030</sup>	7,73 <sup>+1,2973</sup>	45,07 <sup>+1,8336</sup>
M2	65,41 <sup>+1,7500</sup>	1,80 <sup>+0,3700</sup>	28,41 <sup>+1,0700</sup>	62,40 <sup>+0,6468</sup>	8,67 <sup>+1,1836</sup>	40,50 <sup>+1,0249</sup>
M3	64,73 <sup>+1,2500</sup>	2,40 <sup>+0,2400</sup>	24,68 <sup>+0,2150</sup>	74,23 <sup>+0,2872</sup>	3,06 <sup>+0,5586</sup>	29,92 <sup>+0,7537</sup>
M4	68,15 <sup>+3,7950</sup>	0,64 <sup>+0,5100</sup>	31,82 <sup>+0,4550</sup>	63,49 <sup>+0,3800</sup>	8,90 <sup>+0,2551</sup>	43,47 <sup>+0,8475</sup>
WF	78,83 <sup>+0,8590</sup>	-2,38 <sup>+1,2394</sup>	29,58 <sup>+0,2301</sup>	80,95 <sup>+1,1067</sup>	1,88 <sup>+0,5756</sup>	39,29 <sup>+0,3981</sup>

BWF: buckwheat flour; CF: corn flour; RF: rice flour; CPF: chickpea flour; QF: quinoa flour; WF: wheat flour; M1: mix1; M2: mix2; M3: mix3; M4: mix4

**3.2.4. Textural Properties**

The texture analysis values of cake samples are given in Table 6.

The highest values were obtained from the BWF cake regarding elasticity and chewiness in the DEF 50 test, respectively 9,75 mm and 65,20 mJ. The RF cake also had the highest values for deformation in stiffness as 12,32 mm and cohesiveness as 0,4. In contrast, the M1 cake had the highest cohesive force and stickiness values of 19 g, 0,30 mJ, and 0,18 mJ, respectively. While mixture 3 was the highest in fiber length as 3,04 mm, it was confirmed that the stiffness in the M4 cake was the highest as 1763 g.

In the freshness, the elasticity in the BWF cake was the highest, with 8,23 mm. The cohesiveness was found to be the highest in the RF cake as 0,51. The WF cake was also the highest in terms of stiffness, cohesive force, stickiness, gumminess, and chewiness, and the values were as follows respectively: 3244.5 g, 19 g, 0.52 mJ, 0.07 mJ, 1015.2 g, and 75.56 mJ. The fiber length of the M3 cake was highest with a value of 6,56 mm, and the deformation in stiffness values of BWF, CF, RF, and M4 cake samples was high as 10,00 mm. In a study of Majzoobi et al. (2014) the stiffness, cohesiveness, elasticity, and chewiness values were 0,430 kg, 0,073 g s-1, 0,860, 0,958 and 0,305 kg respectively. On the other hand, it was seen in a study by Yıldız (2010) that the values of a cake made with wheat flour ranged from 298.85–628.68 g for stiffness, 0,442–0,580 for stickiness, and 129,695–310.089 for chewiness. It was similarly observed that the gluten-free RF cake values were between 350,5–1819,9 g in stiffness, 128.961 – 806.264 in chewiness, and 0.397–0.563 in stickiness. Lastly, the values of gluten-free cakes made the CF and potato starch differ between 376,3–1093,0 for stiffness, 0,378–0,595 for stickiness, and 134.267–469.680 for chewiness.

**3.2.5. Sensory Analyses of the Cake Samples**

Sensory results of the cakes were shown in Figure 3. Out of all the cake samples, the CF cake had the highest points with 31 in terms of appearance. While other cakes have been liked moderately, the BWF cake, with 13 points, and the QF cake, with 17 points, were the least liked in terms of appearance. The WF and CF cakes were the most acclaimed ones with 28 points in terms of texture. When all the samples were evaluated regarding their smell, the WF cake, 28 points, the CF cake, 27 points, and the RF cake, 27 points, distinguished themselves and got the most likes. The M4 sample had the worst smell with 9 points, while the rest were regarded as moderate. As for their taste, while eating, the CF and WF cakes were the most

preferred ones with 29 points, whereas the M4 cake was the least with 3 points. The QF and M3 samples were not acclaimed with 9 points, and the rest was seen as moderate. The most liked cake on taste after eating test was found to be the CF cake with 30 points. The M4 cake, however, was the last one with 4 points, and the rest of the samples were regarded as average. The BWF, 9 points, the QF, 8 points, and the M3, 7 points, cakes were considered the least favorable ones. For overall liking, the CF and controlling WF cakes with 27 points along with the RF cake with 25 points were the most liked ones, whereas the M4, 10 points, the M3, 9 points, and the QF, 5 points, cakes were regarded as the least favorable by the panelists. The sensory evaluation has crucial importance since it reflects consumers' general admirations and wishes about product quality.

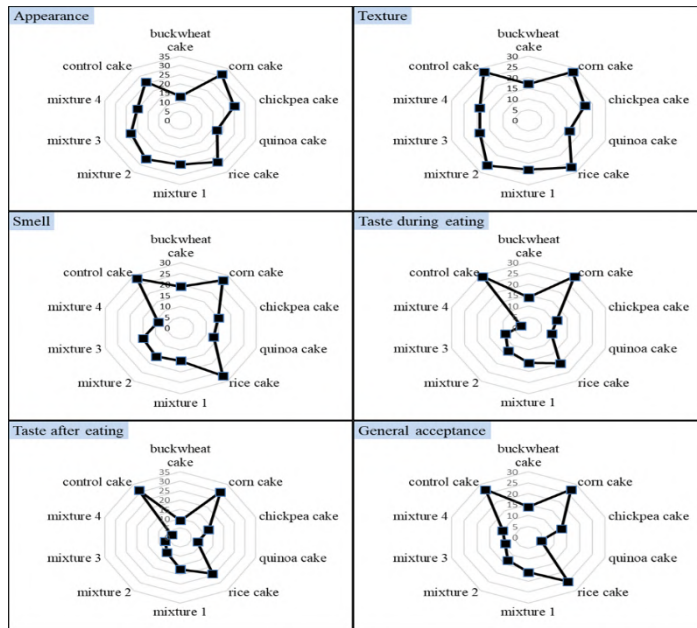


Figure 3. Sensory Properties of cakes



Table 6. Texture analysis values

Cake-DEF50	Hardness (g)	Hardness deformation (mm)	Cohesive force (g)	Adhesiveness (mJ)	Fiber length (mm)	Cohesiveness	Elasticity (mm)	Gumminess (g)	Chewiness (mJ)
BWF	1683 <sup>c</sup>	12,28 <sup>a</sup>	11,5 <sup>b</sup>	0,12 <sup>b</sup>	1,01 <sup>d</sup>	0,41 <sup>a</sup>	9,75 <sup>a</sup>	681,9 <sup>b</sup>	65,2 <sup>a</sup>
CF	1023,5 <sup>h</sup>	12,3 <sup>a</sup>	6 <sup>c</sup>	0,06 <sup>cd</sup>	2,02 <sup>b</sup>	0,23 <sup>d</sup>	8,32 <sup>e</sup>	230,5 <sup>g</sup>	18,81 <sup>e</sup>
RF	1041 <sup>g</sup>	12,32 <sup>a</sup>	8,5 <sup>d</sup>	0,08 <sup>bc</sup>	0,75 <sup>e</sup>	0,43 <sup>a</sup>	9,42 <sup>b</sup>	449,5 <sup>d</sup>	41,53 <sup>c</sup>
CPF	1520,5 <sup>f</sup>	11,53 <sup>b</sup>	1,5 <sup>g</sup>	0 <sup>e</sup>	0,25 <sup>g</sup>	0,15 <sup>e</sup>	5,71 <sup>h</sup>	228,3 <sup>h</sup>	12,78 <sup>g</sup>
QF	926,5 <sup>i</sup>	12,32 <sup>a</sup>	9,5 <sup>c</sup>	0,12 <sup>b</sup>	0,75 <sup>e</sup>	0,26 <sup>cd</sup>	6,87 <sup>g</sup>	238,2 <sup>f</sup>	16,05 <sup>f</sup>
M1	1627,5 <sup>d</sup>	12,29 <sup>a</sup>	19 <sup>a</sup>	0,3 <sup>a</sup>	1,77 <sup>c</sup>	0,33 <sup>bc</sup>	8,82 <sup>cd</sup>	529,9 <sup>c</sup>	45,84 <sup>b</sup>
M2	644 <sup>j</sup>	11,56 <sup>b</sup>	1,5 <sup>g</sup>	0,01 <sup>de</sup>	0,25 <sup>g</sup>	0,34 <sup>b</sup>	8,53 <sup>d</sup>	221,7 <sup>i</sup>	18,54 <sup>e</sup>
M3	1586,5 <sup>e</sup>	5,23 <sup>a</sup>	1,5 <sup>g</sup>	0 <sup>e</sup>	3,04 <sup>a</sup>	0,07 <sup>f</sup>	3,05 <sup>i</sup>	108,5 <sup>j</sup>	3,25 <sup>h</sup>
M4	1763 <sup>a</sup>	12,29 <sup>a</sup>	3,5 <sup>f</sup>	0,02 <sup>cde</sup>	0,51 <sup>f</sup>	0,4 <sup>a</sup>	9,33 <sup>bc</sup>	706,9 <sup>a</sup>	64,68 <sup>a</sup>
WF	1745,5 <sup>b</sup>	12,29 <sup>a</sup>	2,5 <sup>f</sup>	0,02 <sup>cde</sup>	0,25 <sup>g</sup>	0,25 <sup>cd</sup>	7,36 <sup>f</sup>	443,8 <sup>e</sup>	32,03 <sup>d</sup>
Cake-FRESHNESS	Hardness (g)	Hardness deformation (mm)	Cohesive force (g)	Adhesiveness (mJ)	Fiber length (mm)	Cohesiveness	Elasticity (mm)	Gumminess (g)	Chewiness (mJ)
BWF	1204 <sup>g</sup>	10 <sup>a</sup>	4,5 <sup>e</sup>	0,02 <sup>d</sup>	0,5 <sup>d</sup>	0,48 <sup>a</sup>	8,23 <sup>a</sup>	583,9 <sup>d</sup>	47,12 <sup>c</sup>
CF	1550 <sup>e</sup>	10 <sup>a</sup>	3,5 <sup>f</sup>	0,02 <sup>d</sup>	0 <sup>e</sup>	0,33 <sup>de</sup>	7,16 <sup>d</sup>	504,8 <sup>e</sup>	35,44 <sup>e</sup>
RF	877,5 <sup>i</sup>	10 <sup>a</sup>	4,5 <sup>e</sup>	0,02 <sup>d</sup>	0 <sup>e</sup>	0,51 <sup>a</sup>	7,76 <sup>b</sup>	446 <sup>g</sup>	33,94 <sup>f</sup>
CPF	2028 <sup>c</sup>	9,98 <sup>a</sup>	2 <sup>gh</sup>	0,03 <sup>cd</sup>	5,55 <sup>b</sup>	0,21 <sup>ef</sup>	5,64 <sup>f</sup>	429,8 <sup>i</sup>	23,77 <sup>g</sup>
QF	3244,5 <sup>a</sup>	9,94 <sup>a</sup>	19 <sup>a</sup>	0,52 <sup>a</sup>	0,5 <sup>d</sup>	0,31 <sup>cd</sup>	7,59 <sup>c</sup>	1015,2 <sup>a</sup>	75,56 <sup>a</sup>
M1	1252 <sup>f</sup>	9,99 <sup>a</sup>	16 <sup>b</sup>	0,1 <sup>b</sup>	0,5 <sup>d</sup>	0,47 <sup>ab</sup>	7,81 <sup>b</sup>	585,8 <sup>c</sup>	44,87 <sup>d</sup>
M2	948 <sup>h</sup>	9,52 <sup>b</sup>	6,5 <sup>c</sup>	0,02 <sup>d</sup>	0,5 <sup>d</sup>	0,47 <sup>ab</sup>	7,55 <sup>c</sup>	441,7 <sup>h</sup>	32,7 <sup>f</sup>
M3	3039,5 <sup>b</sup>	7,43 <sup>c</sup>	2,5 <sup>g</sup>	0,03 <sup>bcd</sup>	6,56 <sup>a</sup>	0,15 <sup>f</sup>	4,3 <sup>g</sup>	469,2 <sup>f</sup>	19,79 <sup>h</sup>
M4	1589 <sup>d</sup>	10 <sup>a</sup>	5,5 <sup>d</sup>	0,09 <sup>bc</sup>	0,51 <sup>d</sup>	0,49 <sup>a</sup>	7,82 <sup>b</sup>	775,7 <sup>b</sup>	59,49 <sup>b</sup>
WF	710,5 <sup>j</sup>	9,53 <sup>ab</sup>	1,5 <sup>h</sup>	0,01 <sup>d</sup>	5,04 <sup>c</sup>	0,38 <sup>bc</sup>	6,76 <sup>e</sup>	267,4 <sup>j</sup>	17,72 <sup>i</sup>

BWF: buckwheat flour; CF: corn flour; RF: rice flour; CPF: chickpea flour; QF: quinoa flour; WF: wheat flour; M1: mix1; M2: mix2; M3: mix3; M4: mix4

#### 4. Conclusions and Recommendations

Celiac disease is an ailment common in Turkey as it is all around the world. The diet of the patients is crucial, and the consumption of products with gluten should be forbidden entirely. The presence of products with gluten is relatively high because of the common usage of wheat flour in the food industry, while gluten-free products are limited and over-costing. The purpose of this study was to manufacture new and lower-costing products for celiac patients. For this purpose, gluten-free cakes were prepared by using nutritious and gluten-free flours. After all the tests, it was observed that the physical, chemical, rheological, and textural analysis values of samples from our formulations bore a resemblance to the results of cake formulations made with wheat flour (control). In sensory analyses of the cake formulations, cake with cornflour got the highest preference, followed by rice flour cake and cake mixture 1. It was concluded that alternative products could be produced with the formulations above for celiac patients. Nonetheless, it was thought that products with aromatic admixtures might be preferred and consumed more in terms of sensory.

#### 5. Acknowledge

This project was carried out within the scope of the TUBITAK 2209B / 2241A Industrial Focused Undergraduate Thesis Support Program. Project ID: 1139B411503248.

#### References

- AACC (1999) Method 08-01.01. Ash -- Basic Method. Approved Methods of Analysis, 11th edition. St. Paul, MN: AACC International.
- AACC (1999) Method 44-19.01. Moisture -- Air-Oven Method, Drying at 135°. Basic Method. Approved Methods of Analysis, 11th edition. St. Paul, MN: AACC International.
- AACC (2000) Method 10-05.01. Guidelines for measurement of volume by rapeseed displacement. Approved Methods of Analysis, 11th edition. St. Paul, MN: AACC International.
- Abdi, H., & Williams, L. J. (2010). Tukey's honestly significant difference (HSD) test. Encyclopedia of Research Design. Thousand Oaks, CA: Sage, 1-5.
- Akbaş, Ö. (2009). Usage of Exopolysaccharides in Cake Production (Kek Üretiminde Ekzopolisakkaritlerin Kullanımı). Master Thesis. Institute of Science. Van.
- AOAC (2000). Method 992.23, In "Official Methods of Analysis", 17th Ed., AOAC International, Gaithersburg, MD.
- Arslan, M., Rakha, A., Xiaobo, Z., & Mahmood, M. A. (2019). Complimenting gluten free bakery products with dietary fiber: Opportunities and constraints. *Trends in food science & technology*, 83, 194-202.
- Bourekoua, H., Benatallah, L., Zidoune, M. N., & Rosell, C. M. (2016). Developing gluten free bakery improvers by hydrothermal treatment of rice and corn flours. *LWT*, 73, 342-350.
- Caio, G., Volta, U., Sapone, A., Leffler, D. A., De Giorgio, R., Catassi, C., & Fasano, A. (2019). Celiac disease: a comprehensive current review. *BMC medicine*, 17(1), 1-20.
- Ghaboos, H. S., Ardabili, S. S., & Kashaninejad, M. (2018). Physico-chemical, textural and sensory evaluation of sponge cake supplemented with pumpkin flour. *International Food Research Journal*, 25(2), 854-860.
- Macho, V. M. P., de Barros Menéres, M. C. A., e Silva, D. M. V., & de Andrade, D. J. C. (2020). The difference in symmetry of the enamel defects in celiac disease versus non-celiac pediatric population. *Journal of Dental Sciences*, 15(3), 345-350.
- Majzooobi, M., Hedayati, S., Habibi, M., Ghiasi, F., & Farahnaky, A. (2014). Effects of corn resistant starch on the physicochemical properties of cake. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 16(3), 569-576.
- Moreno, M. D. L., Comino, I., & Sousa, C. (2014). Alternative grains as potential raw material for gluten-free food development in the diet of celiac and gluten-sensitive patients. *Austin J Nutri Food Sci*, 2(3), 1016.
- Norouzbeigi, S., Vahid-Dastjerdi, L., Yekta, R., Sohrabvandi, S., Zendeboodi, F., & Mortazavian, A. M. (2020). Celiac therapy by administration of probiotics in food products: a review. *Current Opinion in Food Science*, 32, 58-66.
- Palabiyik, I., Yildiz, O., Toker, O. S., Cavus, M., Ceylan, M. M., & Yurt, B. (2016). Investigating the addition of enzymes in gluten-free flours--The effect on pasting and textural properties. *LWT-Food Science and Technology*, 69, 633-641.
- Pehlivanoglu, H., Ozulku, G., Yildirim, R. M., Demirci, M., Toker, O. S., & Sagdic, O. (2018). Investigating the usage of unsaturated fatty acid-rich and low-calorie oleogels as a shortening mimetic in cake. *Journal of food processing and preservation*, 42(6), e13621.
- Peyronel, F., & Campos, R. (2012). Methods used in the study of the physical properties of fats. In A. G. Marangoni (Ed.), *Structure-function analysis of edible fats* (pp. 262-277). Urbana: AOCS Press.
- Radlović, N. (2013). Celiac disease. *Srpski arhiv za celokupno lekarstvo*, 141(1-2), 122-126.
- Rahmati, N. F., & Tehrani, M. M. (2014). Influence of different emulsifiers on characteristics of eggless cake containing soy milk: Modeling of physical and sensory properties by mixture experimental design. *Journal of food science and technology*, 51(9), 1697-1710.
- Rao MA, Cooley HJ (1992). Rheological behavior of tomato pastes in steady and dynamic shear. *J Texture Stud.*, 23, 415-425.
- Sakiyan, O., Sumnu, G., Sahin, S., Meda, V., Koksel, H., & Chang, P. (2011). A study on degree of starch gelatinization in cakes baked in three different ovens. *Food and Bioprocess Technology*, 4(7), 1237-1244.
- Salehi, F., & Kashaninejad, M. (2015). Effect of drying methods on rheological and textural properties, and color changes of wild sage seed gum. *Journal of food science and technology*, 52(11), 7361-7368.
- Tang, Y., Yang, Y., Wang, Q., Tang, Y., Li, F., Zhao, J., ... & Ming, J. (2019). Combined effect of carboxymethylcellulose and salt on structural properties of wheat gluten proteins. *Food Hydrocolloids*, 97, 105189.
- Yıldız, Ö. (2002). An Investigation on Low-Calorie Cakes (Düşük Kalorili Kek Üretimi Üzerine Bir Araştırma). Master Thesis. Institute of Science. Van.
- Yıldız, Ö. (2010). Investigation of the effects of different formulation, cooking and storage times on the gluten free cakes (Farklı formülasyon, pişirme ve depolama sürelerinin glutensiz kek kalitesi üzerine etkilerinin araştırılması) Doctorate thesis. Institute of Science. Van.
- Yildiz, Ö., Toker, O. S., Yüksel, F., Cavus, M., Ceylan, M. M., & Yurt, B. (2017). Pasting properties of buckwheat, rice and maize flours and textural properties of their gels: effect of

ascorbic acid concentration. *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*, 9(3), 313-321.

Yoo B, Rao MA (1996). A creep and dynamic rheological behavior of tomato concentrates: effect of concentration and finisher screen size. *Journal of Texture Studies*, 27, 451-459. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1745-4603.1996.tb00087>.



# Mock-Chebyshev Polinom İnterpolasyonu

B. Ali İbrahimoglu<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya-Metalürji Fakültesi, Matematik Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-3644-2201),  
[bibrahim@yildiz.edu.tr](mailto:bibrahim@yildiz.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 16 Eylül 2021 ve Kabul Tarihi 30 Kasım 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.996547)

**ATIF/REFERENCE:** İbrahimoglu, B. A. (2021). Mock-Chebyshev Polinom İnterpolasyonu. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (27), 858-865.

## Öz

Polinom interpolasyonunda noktaların geometrik yeri önemli bir rol oynar. Bunu göstermek için, iyi bilinen Runge fenomenini örnek vermek yeterli olacaktır. Bu bağlamda, noktalarının dağılımı eşit aralıklı olmaktan epey uzak olan Chebyshev nodlarının kullanılması tavsiye edilir. Fakat, bir gözlem veya ölçüm sırasında veriler genelde eşit aralıklı olacak şekilde elde edilir. Bu eşit aralıklı verileri kullanarak polinom interpolasyonu ile bir yaklaşım elde edilmek istendiğinde hem Runge olgusundan kaçınmak hem de Chebyshev noktalarının kullanılmasına benzer şekilde iyi bir sonuç elde etmek için takip edilebilecek en iyi stratejilerden biri son zamanlarda geliştirilen mock-Chebyshev noktalarını kullanmaktır. Eşit aralıklı noktaların genişçe bir kümesinden seçilerek elde edilen bu noktalar asimptotik olarak Chebyshev noktalarının dağılımını takip eder. Ancak, bu noktaların hesaplanması için gereken işlem yükü fazladır ve bu konuda literatürde yeteri kadar çalışma yoktur. Bu çalışmada, mock-Chebyshev noktalarının elde edilmesinde düşük işlem yüküne sahip iyi bir alternatif bir yöntem sunulmaktadır. Dahası, bu yöntem mock-Chebyshev noktalarının birbirinden farklı kümelerinin elde edilmesini sağlar. Kovid-19 vakalarını tahmin etmek için bu metod ile elde edilen noktalar kullanılarak polinom interpolasyonun bir uygulaması verilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Polinom interpolasyonu, Mock-Chebyshev noktaları, Nod dağılımları.

# Mock-Chebyshev Polynomial Interpolation

## Abstract

In polynomial interpolation, the location of the interpolation points plays an important role. Suffices to consider the well-known Runge phenomenon to understand this. In this context, the general recommendation is to use the highly non-uniform Chebyshev nodes. But, during an observation or measurement, the data are generally obtained for the equispaced points. When it is aimed to obtain an approximation with polynomial interpolation using equispaced nodes, one of the best strategies has been the use of the lately developed mock-Chebyshev points in order to avoid the Runge phenomenon and to get similarly better results with the use of Chebyshev points. A disadvantage here is that the computational cost is higher and there are not many studies in the existing literature. In this study, a better alternative method is introduced for constructing a set of mock-Chebyshev interpolation points with a low computational cost. Moreover, using this method, it is also possible to obtain different configurations of mock-Chebyshev sets. Using the points obtained by the method, an application of polynomial interpolation is provided in order to estimate Covid-19 cases.

**Keywords:** Polynomial interpolation, Mock-Chebyshev points, Node distributions.

\* Sorumlu Yazar: [bibrahim@yildiz.edu.tr](mailto:bibrahim@yildiz.edu.tr)

## 1. Giriş

Polinom interpolasyonunda noktaların dağılımı önemli bir rol oynar. Bazı nokta kümeleri ile optimale (en iyiye) yakın yaklaşımlar elde edilirken, bazılarıyla çok kötü (ırsak) sonuçlar elde edilebilir. Bunu göstermek için, interpolasyonda eşit aralıklı noktaları ve noktalarının dağılımı eşit aralıklı olmaktan epey uzak olan Chebyshev noktalarını ele almak yeterlidir. Eşit aralıklı noktalar kullanıldığında sürekli fonksiyonların çoğu için dahi interpolasyon polinomu düzgün yakınsamaz. Buna standart örnek olarak,  $[-1, 1]$

aralığında  $f(x) = (1 + 25x^2)^{-1}$  Runge fonksiyonunun polinom interpolasyonu verilmektedir. Bu fonksiyon için interpolasyon polinomu eşit aralıklı noktalar kullanılarak oluşturuluyorsa interpolasyon aralığının sınırlarına doğru gidildikçe çok büyük salınımlar görülecek ve böylece interpolasyon polinomu Runge fonksiyonuna yakınsamayacaktır [7]. Bu durum Runge olgusu olarak adlandırılır.

Buna karşın, interpolasyon aralığının sınırlarına doğru gidildikçe önemli ölçüde fazla noktanın mevcut olduğu ve  $[-1, 1]$  aralığı için bu noktaların dağılımının  $n(\pi\sqrt{1-x^2})^{-1}$  yoğunluk fonksiyonuna sahip olduğu Chebyshev noktalarında ise durum tamamen farklıdır. Örneğin, Runge fonksiyonu için Chebyshev noktalarında interpolasyon polinomu geometrik bir şekilde yakınsar. Dahası, tüm analitik fonksiyonlar için bu durum geçerlidir.

Ancak, pek çok bilimsel araştırmada veriler genelde eşit aralıklı noktalarda elde edilir. Örneğin, bir deney veya gözlemler genellikle eşit aralıklı olacak şekilde yapılır. Bu eşit aralıklı verileri kullanarak polinom interpolasyonu ile bir yaklaşım elde edilmek istendiğinde, hem Runge olgusundan kaçınmak hem de Chebyshev noktalarının kullanılmasına benzer şekilde iyi bir sonuç elde etmek için takip edilebilecek en iyi stratejilerden biri son zamanlarda geliştirilen mock-Chebyshev noktalarını kullanmaktır [1]. Eşit aralıklı noktaların yeterince genişçe bir kümesinden seçilerek elde edilen bu noktalar asimptotik olarak Chebyshev noktalarının dağılımını takip ederler. Ancak, bu noktaların hesaplanması için gereken işlem yükü fazladır ve bu konuda literatürde yeteri kadar çalışma yoktur.

Runge olgusunu önleyen bir yöntem olarak, polinom interpolasyonunda mock-Chebyshev noktalarının kullanılması ve bu noktaların nasıl seçileceği konusunda bir strateji ilk kez Boyd tarafından verilmiştir [1]. Ancak, belirtilen yöntem  $O(n^3)$  mertebeden işlem yüküne sahip olması nedeniyle, noktaların hesaplanması yüksek dereceden yaklaşımlar için zor olacaktır. Bir başka çalışmada ise eşit aralıklı noktaların sayısının serbestçe seçilebildiği durum için mock-Chebyshev noktalarını hesaplayan hızlı bir algoritma [4,5] verilmiştir. Yakın

zamanda yayınlanan ve mock-Chebyshev noktalarının özelliklerinin çalışmadaki [6] öneri dikkate alınarak mock-Chebyshev noktalarını  $O(n^2)$  mertebeden işlem yükü ile hesaplayan bir yöntem bu çalışmada verilmiştir. Bu yöntem ile elde edilen noktaların performansını test etmek için bu noktalar polinom interpolasyonunda kullanılmıştır. Bunun için Covid-19 vakalarını ara günlerde tahmin eden interpolasyon polinomları elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, eşit aralıklı noktalar kullanılması durumunda elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.

## 2. Polinom İnterpolasyonu

Birbirinden farklı  $x_0, \dots, x_n \in [a, b] \subset \mathbb{R}$  noktaları (veya nodları) ve bu noktalardaki  $f_0, \dots, f_n$  verileri (veya fonksiyon değerleri) kullanılarak,

$$p_n(x_j) = f_j, \quad j = 0, \dots, n \quad (1)$$

interpolasyon şartlarını sağlayan ve derecesi en fazla  $n$  olan tek bir interpolasyon polinomu  $p_n(x)$  vardır. Bu  $p_n(x)$  polinomu çeşitli polinom bazları kullanılarak farklı formlarda ifade edilebilir. Baz seçimi matematiksel açıdan bir fark oluşturmada da interpolasyon polinomunu nümerik olarak hesaplarken problemin durumunu etkiler.

### 2.1. Monomial Bazların Kullanılması

Denklem (1)'deki interpolasyon şartlarını sağlayan  $p_n(x)$  polinomu  $1, x, \dots, x^n$  monomial bazlarının bir lineer kombinasyonu şeklinde aşağıdaki gibi ifade edilebilir:  $p_n(x) = a_0 + a_1x + \dots + a_{n-1}x^{n-1} + a_nx^n = \sum_{i=0}^n a_i x^i$ .

(2)

Burada oluşan  $a_0, \dots, a_n$  katsayıları, Denklem (1)'deki interpolasyon şartları kullanılarak

$$\begin{bmatrix} 1 & x_0 & x_0^2 & \cdots & x_0^n \\ 1 & x_1 & x_1^2 & \cdots & x_1^n \\ 1 & x_2 & x_2^2 & \cdots & x_2^n \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & x_n & x_n^2 & \cdots & x_n^n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_0 \\ f_1 \\ f_2 \\ \vdots \\ f_n \end{bmatrix} \quad (3)$$

şeklinde Vandermonde sistemi olarak adlandırılan ve  $V\mathbf{a} = \mathbf{f}$  şeklinde gösterilecek  $n+1$  boyutlu bir lineer denklem sisteminin çözümü ile hesaplanabilir. Burada oluşan  $(n+1) \times (n+1)$  boyutundaki kare matris, katsayılar matrisidir. Bu katsayılar matrisine Vandermonde matrisi denir ve aşağıdaki şekilde gösterilir:

$$V = V_n(x_0, \dots, x_n) = \begin{bmatrix} 1 & x_0 & x_0^2 & \cdots & x_0^n \\ 1 & x_1 & x_1^2 & \cdots & x_1^n \\ 1 & x_2 & x_2^2 & \cdots & x_2^n \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & x_n & x_n^2 & \cdots & x_n^n \end{bmatrix}. \quad (4)$$

Burada oluşan  $V\mathbf{a} = \mathbf{f}$  lineer denklem sistemi ancak ve ancak  $\det V \neq 0$  ise, tek bir çözüme sahiptir. Birbirinden farklı  $x_0, x_1, \dots, x_n$  sayıları için Vandermonde matrisinin determinanı,

$$\det V_n(x_0, \dots, x_n) = \det \begin{bmatrix} 1 & x_0 & x_0^2 & \cdots & x_0^n \\ 1 & x_1 & x_1^2 & \cdots & x_1^n \\ 1 & x_2 & x_2^2 & \cdots & x_2^n \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & x_n & x_n^2 & \cdots & x_n^n \end{bmatrix} = \prod_{0 \leq j < i \leq n} (x_i - x_j) \quad (5)$$

eşitliğini sağlar. Burada,  $x_0, x_1, \dots, x_n$  sayıları birbirinden farklı olduğu sürece,  $\det V \neq 0$  'dır. Böylece,  $f_0, \dots, f_n$  verilerinin herhangi bir seçimi için  $V\mathbf{a} = \mathbf{f}$  lineer denklem sisteminin her zaman tek bir çözümü vardır.

## 2.2. Lagrange Bazlarının Kullanılması

Denklem (1)'deki interpolasyon şartlarını sağlayan  $p_n(x)$  polinomu,

$$l_i(x) = \prod_{\substack{j=0 \\ j \neq i}}^n \frac{x - x_j}{x_i - x_j}, \quad i = 0, \dots, n \quad (6)$$

formülü ile verilen  $l_0(x), l_1(x), \dots, l_n(x)$  Lagrange bazları

kullanılarak farklı bir şekilde ifade edilebilir. Burada,  $i \neq j$  için  $l_i(x_j) = 0$  ve  $i = j$  için  $l_i(x_i) = 1$  olduğundan  $p_n(x)$  interpolasyon polinomu,  $l_0(x), l_1(x), \dots, l_n(x)$  Lagrange bazlarının bir lineer kombinasyonu şeklinde aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$p_n(x) = \sum_{i=0}^n f(x_i) l_i(x). \quad (7)$$

Buna interpolasyon polinomunun Lagrange formu veya Lagrange interpolasyon polinomu denir. Burada  $i$  -inci Lagrange polinomu,  $l_i(x)$  Vandermonde matrisi kullanılarak

$$l_i(x) = \frac{\det(V_i(x))}{\det(V)} = \frac{\det V_n(x_0, \dots, x_{i-1}, x, x_{i+1}, \dots, x_n)}{\det V_n(x_0, \dots, x_n)}$$

şeklinde ifade edilebilir. Örneğin,  $n = 3$  için  $l_2(x)$  Lagrange polinomu

$$l_2(x) = \frac{\det V_3(x_0, x_1, x, x_3)}{\det V_3(x_0, \dots, x_3)} = \frac{\det \begin{bmatrix} 1 & x_0 & x_0^2 & x_0^3 \\ 1 & x_1 & x_1^2 & x_1^3 \\ 1 & x & x^2 & x^3 \\ 1 & x_3 & x_3^2 & x_3^3 \end{bmatrix}}{\det \begin{bmatrix} 1 & x_0 & x_0^2 & x_0^3 \\ 1 & x_1 & x_1^2 & x_1^3 \\ 1 & x_2 & x_2^2 & x_2^3 \\ 1 & x_3 & x_3^2 & x_3^3 \end{bmatrix}}$$

şeklinde elde edilir. Burada,  $j \neq 2$  için  $l_2(x_j) = 0$  ve  $j = 2$  için  $l_2(x_2) = 1$  olduğu kolayca görülebilir.

## 2.3. Polinom İnterpolasyonunda Hata

Birbirinden farklı  $x_0, x_1, \dots, x_n \in [a, b]$  noktalarında bir  $f(x)$  fonksiyonunu interpolate eden ve derecesi en fazla  $n$  olan interpolasyon polinomu  $p_n(x)$  olsun. Bu durumda,  $f(x) \in C^{(n+1)}([a, b])$  ise, oluşan hata

$$f(x) - p_n(x) = \frac{f^{(n+1)}(\xi_x)}{(n+1)!} \prod_{j=0}^n (x - x_j) \quad (8)$$

şeklinde ifade edilir. Burada,  $\xi_x \in (x_0, x_n)$  bir sayı,  $f^{(n+1)}(\xi_x)$  ise  $f(x)$  fonksiyonunun  $(n+1)$ -inci mertebeden türevinin bu sayıdaki değeridir. Fakat, genelde  $\xi_x$  sayısı tam olarak bilinmez ve bu durumda hata hakkında bir tahmin yapılmasını sağlayan aşağıdaki hata formülü önemlidir [2]:

$$\max_{x \in [a, b]} |f(x) - p_n(x)| \leq \max_{x \in [a, b]} \left( \frac{|f^{(n+1)}(x)|}{(n+1)!} \right) \max_{x \in [a, b]} \prod_{j=0}^n |x - x_j| \quad (9)$$

Burada,  $f(x)$  fonksiyonu problem tarafından sabitlenmiş olduğundan hatanın üst sınırı üzerinde meydana gelebilecek herhangi bir etki; Denklem (8)'deki Cauchy hata çarpanı olarak

adlandırılan  $Q(x) = \prod_{j=0}^n (x - x_j)$  ifadesinden dolayı, sadece

$x_j$  noktalarının seçimine bağlı olacaktır. İnterpolasyon noktaları  $(n+1)$ -inci dereceden Chebyshev polinomunun kökleri olacak

şekilde seçilirse,  $\max_{x \in [-1,1]} \prod_{j=0}^n |x - x_j|$  ifadesi minimum olur ve bu

değer  $\frac{1}{2^n}$ 'dir [2]. Bu noktalara Chebyshev noktaları denir ve

$$x_j = \cos\left(\frac{2j+1}{2n+2}\pi\right), j=0, \dots, n \quad (10)$$

şeklinde tanımlanırlar. Cauchy hata çarpanının mutlak değerinin

maksimum değerini  $\frac{1}{2^{n-1}}$  ile minimuma yakın yapan bir başka

noktalar kümesi ise Chebyshev polinomunun ekstremumları olarak adlandırılan ve tanım aralığının uç noktaları olan  $\pm 1$  sayılarını içermeleriyle Chebyshev noktalarından ayrışan Chebyshev-Lobatto noktalarıdır ve bu noktalar aşağıdaki şekilde tanımlanırlar:

$$x_j = \cos\left(\frac{j}{n}\pi\right), j=0, \dots, n. \quad (11)$$

Eğer noktalar eşit aralıklı olarak,

$$x_j = -1 + \frac{2j}{n}, j=0, \dots, n \quad (12)$$

şeklinde seçilirse, Chebyshev-Lobatto noktalarının aksine

$\max_{x \in [-1,1]} |Q(x)|$  ifadesi  $\frac{(2n)!}{2^n n^{n+1} n!}$  gibi büyük değerli bir alt sınır

ile kötü sonuç verecektir.

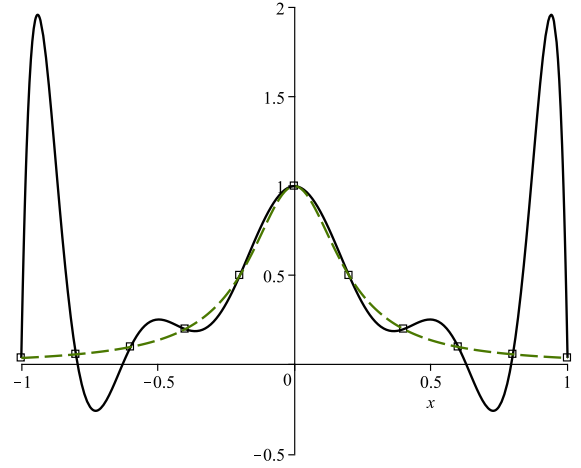
### 3. Mock-Chebyshev İnterpolasyonu

İnterpolasyon polinomunun eşit aralıklı noktalardaki davranışları ile Chebyshev noktalarındaki davranışları kıyaslandığında çok farklı sonuçlar verdiği görülmektedir. Dahası, Chebyshev noktaları optimale yakın sonuç verirken eşit aralıklı noktalar ise, Runge olgusundan dolayı, analitik fonksiyonlar için dahi ıraksak sonuç verebilmektedir. İyi bir yaklaşım elde etmek için izlenecek yol, polinom interpolasyonunda asimtotik olarak Chebyshev noktalarının dağılımını takip eden noktalar kümesinin kullanılmasıdır [8]. Fakat, bir gözlem veya ölçüm sırasında veriler genelde eşit

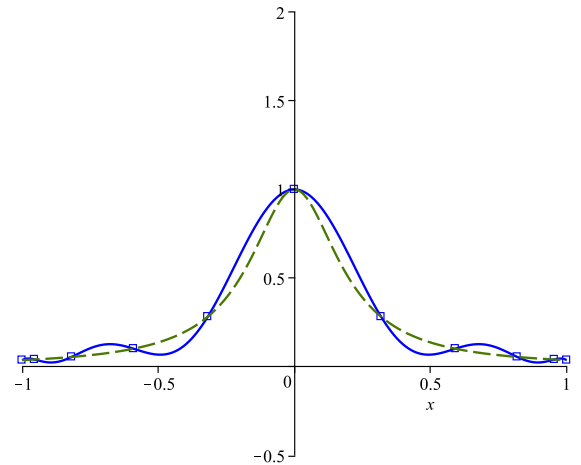
aralıklı olacak şekilde elde edilir. Bu durumda, eşit aralıklı nokta dağılımının kötü sonuçlarından kaçınmak ve polinom interpolasyonunun hatasını azaltmak için son yıllarda geliştirilen mock-Chebyshev noktaları olarak adlandırılan iyi bir alternatif yöntem vardır (Şekil 1 ve Şekil 2). Bu yöntem, polinom interpolasyonunda kullanılacak verilerin eşit aralıklı yeteri kadar genişçe bir kümesinden Chebyshev-Lobatto noktalarının dağılımı dikkate alınarak bir alt küme oluşturulmasına dayanır. Bu küme oluşturulurken elde edilen noktaların aşağıdaki iki koşulu sağlaması gerekir:

- (i) Noktalar birbirinden farklı olmalıdır.
- (ii) Noktaların dağılımı Chebyshev-Lobatto noktalarının dağılımına benzer olmalıdır.

Bu iki koşulu sağlayan noktalar kümesinin özellikleri yakın zamanda yayınlanan bir çalışmada [6] gösterilmiştir.



Şekil 1. Runge fonksiyonu (kesikli çizgi) ve 11 eşit aralıklı noktada fonksiyonun interpolasyon polinomu (düz çizgi)



Şekil 2. Runge fonksiyonu (kesikli çizgi) ve 11 mock-Chebyshev noktasında fonksiyonun interpolasyon polinomu (düz çizgi)

### 3.1. Mock-Chebyshev Noktalarının Hesabı

Mock-Chebyshev noktalarının nasıl seçileceği konusunda bir yöntem ilk kez Boyd [1] tarafından makalesinde verilmiştir. Fakat, bu yöntem lokal optimizasyon gerektirdiğinden  $O(n^3)$  mertebeden işlem yükü ile maliyeti yüksektir. Ancak, bu

işlem yükünü  $O(n^2)$  mertebesine indiren aşağıdaki yöntem, mock-Chebyshev noktalarının elde edilmesinde iyi bir alternatif sunmaktadır. Bu yöntemde,  $(n+1)$  adet  $\tilde{x}_0, \tilde{x}_1, \dots, \tilde{x}_n$  mock-

Chebyshev noktası  $m \geq \left\lceil \frac{2n^2}{\pi^2} \right\rceil + 1$  olmak üzere  $(m+1)$  adet

$\bar{x}_0, \bar{x}_1, \dots, \bar{x}_m$  eşit aralıklı noktalar arasından aşağıdaki gibi seçilirler.

$$X_n = \left\{ x_j = -\cos\left(\frac{j\pi}{n}\right), \quad j = 0, 1, \dots, n \right\},$$

$$\bar{X}_m = \left\{ \bar{x}_k = -1 + \frac{2k}{m}, \quad k = 0, 1, \dots, m, m \geq \left\lceil \frac{2n^2}{\pi^2} \right\rceil + 1 \right\},$$

$$\tilde{X}_n = \left\{ \tilde{x}_j : \tilde{x}_j \in \bar{X}_m, \tilde{x}_j \approx x_j, \quad j = 0, 1, \dots, n \right\},$$

olmak üzere,  $\tilde{X}_n$  kümesinin elemanları aşağıdaki şekilde oluşturulur.

#### Metod 1:

$$\bar{X}_{m,0} = \{\bar{x}_0 = -1\}, \bar{X}_{m,n} = \{\bar{x}_n = 1\},$$

$$\bar{X}_{m,j} = \left\{ \bar{x}_l : \frac{x_{j-1} + x_j}{2} < \bar{x}_l < \frac{x_j + x_{j+1}}{2}, 1 \leq j \leq n-1, l \in \{0, 1, \dots, m\} \right\},$$

$$\tilde{x}_j \in \bar{X}_{m,j}, \quad j = 0, 1, \dots, n.$$

Bu yöntemin avantajlarından biri,  $\tilde{x}_j \in \bar{X}_{m,j}, \quad j = 0, 1, \dots, n$

seçimine bağlı olarak birden fazla kümenin elde edilebilmesidir. Elde edilen her bir küme yukarıda belirtilen mock-Chebyshev noktalar kümesi olma koşullarını sağlar. Örneğin,

$$\forall \bar{x}_l \in \bar{X}_{m,j} \text{ için } |x_j - \bar{x}_l| \text{ minimum ise, } \tilde{x}_j = \bar{x}_l$$

seçimi ile noktalar arasındaki maksimum sapma dikkate alındığında en iyi,

$$\forall \bar{x}_l \in \bar{X}_{m,j} \text{ için } |x_j - \bar{x}_l| \text{ maksimum ise, } \tilde{x}_j = \bar{x}_l$$

seçimi ile de en kötü mock-Chebyshev noktalar kümesi elde edilir. Buradaki en iyi ve en kötü olma durumuna göre oluşan noktaların kümelerini sırasıyla  $\tilde{X}_n^B$  ve  $\tilde{X}_n^W$  ile göstereceğiz. Bu yöntemin bir başka avantajı ise her bir seçimde işlem yükünün  $O(n^2)$  mertebesinde olmasıdır. Bu bağlamda, sadece en iyi mock-Chebyshev noktalar kümesini veren fakat işlem yükü  $O(n^3)$  mertebesinde olan bir yöntem Boyd [1] tarafından verilmiştir. Bu yöntem aşağıdaki gibidir.

#### Metod 2 [1]:

$$|x_j - \bar{x}_l| = \min_k |x_j - \bar{x}_k| \text{ olacak şekilde } \tilde{x}_j = \bar{x}_l,$$

$$\forall k = 0, 1, \dots, m, \quad j = 0, 1, \dots, n, \quad l \in \{0, 1, \dots, m\}$$

Bu yöntemlere ilaveten, eşit aralıklı noktaların sayısının serbestçe seçilebildiği durumda,  $O(n)$  mertebeden işlem yükü ile mock-Chebyshev noktalarını hesaplayan hızlı bir algoritma yakın zamanda yayınlanan bir çalışmada [4] ve bunun genişletilmiş bir versiyonu da daha sonraki bir çalışmada [5] verilmiştir.

#### Metod 3 [4]:

$$\tilde{x}_j = \tilde{x}_0 + S_j \tilde{h}, \quad \tilde{h} = \frac{2}{S_n}, \quad \tilde{x}_0 = x_0, \quad S_0 = 0, \quad j = 1, 2, \dots, n.$$

$$S_j = \left\lceil \frac{h_j(X_n)}{\min h_j(X_n)} \right\rceil + S_{j-1}, \quad h_j(X_n) = x_j - x_{j-1}.$$

#### Metod 4[5]:

##### Algoritma 1: $X_n$ kümesini oluşturma yordamı

$$\text{girdi } X_n = \left\{ x_j = \frac{1}{2}(a+b) + \frac{1}{2}(a-b)\cos\left(\frac{j\pi}{n}\right), \quad j = 0, 1, \dots, n \right\}$$

$j = 1$  den  $n$  ye döngü

$$|h_j(X_n) \leftarrow x_j - x_{j-1};$$

döngü sonu

$$h_{\min}(X_n) \leftarrow \min_{1 \leq j \leq n} h_j(X_n);$$

$$S_0 \leftarrow 0;$$

$j = 1$  den  $n$  ye döngü

$$S_j \leftarrow \left\lceil \frac{h_j(X_n)}{h_{\min}(X_n)} \right\rceil + S_{j-1};$$

döngü sonu

$$\tilde{h} \leftarrow \frac{b-a}{S_n}; \quad \tilde{x}_0 \leftarrow x_0; \quad \tilde{X}_n \leftarrow \{\tilde{x}_0\};$$

$j = 1$  den  $n$  ye döngü

$$\tilde{x}_j \leftarrow \tilde{x}_0 + S_j \tilde{h};$$

$$\tilde{X}_n \leftarrow \tilde{X}_n \cup \{\tilde{x}_j\};$$

döngü sonu

$$\text{çıktı } \tilde{X}_n = \{\tilde{x}_j : j = 0, 1, \dots, n\}$$



#### 4. Sayısal Sonuçlar ve Tartışma

Bu bölümde, *Metod 1* ile elde ettiğimiz noktaların performansını ölçmek için 2020 yılında meydana gelen koronavirüs pandemisinde Türkiye'nin 18 Haziran 2020 ile 10 Eylül 2021 arası Worldometers [9]'in verilerine göre, doğrulanmış günlük koronavirüs vaka sayılarını kullanarak polinom interpolasyonları elde edelim. Bunun için, öncelikle, bu tarihler arasındaki 85 günlük veri setinden 15 tanesini seçerek interpolasyon polinomu ile bir yaklaşım elde edip sonra elde ettiğimiz polinom ile kullanmadığımız günlerin verilerini tahmin ederek yapılan hatayı hesaplayalım. Bu işlemleri hem  $\tilde{X}_n^B$  hem de  $\tilde{X}_n^W$  kümeleri için ayrı ayrı yapalım. Öncelikle, bu 15 günlük veriyi 85 günlük veri içerisinde 18 Haziran 2020 tarihini ilk gün, 10 Eylül 2021 tarihini ise 85-inci gün olarak kabul edip ilk günden başlamak üzere 6'şar gün arayla eşit aralıklı olacak şekilde Tablo 1'de olduğu gibi seçelim.

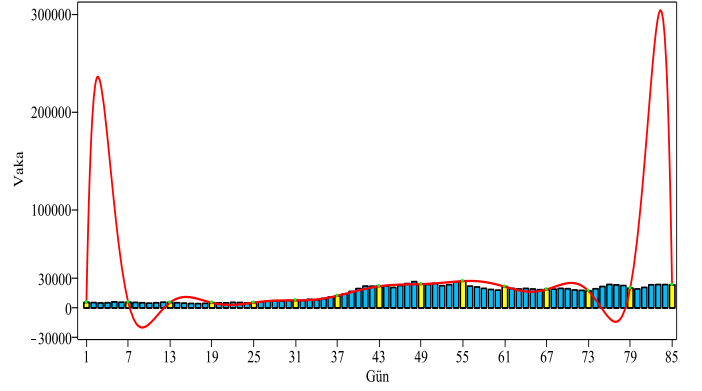
Tablo 1. Verilerin eşit aralıklı olacak şekilde seçilmesi

$j$	$x_j$	$f_j$ : vaka sayısı	Tarih
0	1	5575	18 HAZİRAN 2021
1	7	5703	24 HAZİRAN 2021
2	13	5496	30 HAZİRAN 2021
3	19	5299	6 TEMMUZ 2021
4	25	5404	12 TEMMUZ 2021
5	31	7680	18 TEMMUZ 2021
6	37	12381	24 TEMMUZ 2021
7	43	22083	30 TEMMUZ 2021
8	49	24297	5 AĞUSTOS 2021
9	55	27356	11 AĞUSTOS 2021
10	61	21692	17 AĞUSTOS 2021
11	67	18857	23 AĞUSTOS 2021
12	73	17332	29 AĞUSTOS 2021
13	79	20033	4 EYLÜL 2021
14	85	23562	10 EYLÜL 2021

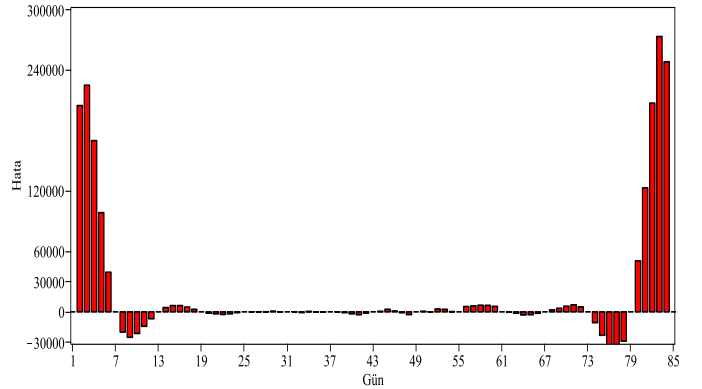
Bu durumda,

$$p_{14}(x_j) = f_j, j = 0, \dots, 14$$

şeklinde interpolasyon şartlarını sağlayan  $p(x)$  interpolasyon polinomu, monomial bazlar kullanılarak Denklem (3) veya Lagrange bazları kullanılarak Denklem (7) ile kolayca hesaplanabilir. Bu durumda elde edilen yaklaşım polinomu (kırmızı eğri) ve seçilen günler (sarı sütunlar) açık bir şekilde Şekil 2'de gösterilmiştir. Runge olgusu sebebiyle, grafiğin başlangıç ve bitiş noktaları civarında oldukça büyük sıçramalar görülmektedir. Burada oluşan hataların büyüklüklerini daha net bir şekilde Şekil 3'teki grafikte görmekteyiz. Buna göre, vaka tahmin sayılarının pozitif olduğu günler dikkate alındığında, en büyük hata 83-üncü günde oluşur. Dahası, gerçekte 23914 olan vaka sayısı bu yaklaşım ile 297303 olarak hesaplanır.



Şekil 3. 85 günlük vakadan 15 tanesinin eşit aralıklı olarak seçilmesiyle elde edilen interpolasyon polinomu



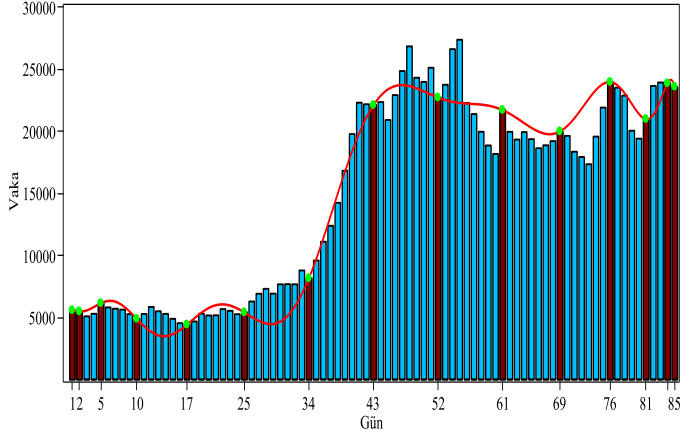
Şekil 4. İnterpolasyon polinomu ile elde edilen değerler ile gerçek değerler arasındaki farklar

Elde edilen yaklaşımın hatasını azaltmak için, şimdi ise, 15 günlük veriyi 85 günlük veri seti içerisinde mock-Chebyshev noktalarını dikkate alarak seçelim. Bunun için, *Method 1* ile verileri önce  $\tilde{X}_{14}^B$  ye göre Tablo 2' de olduğu gibi seçelim.

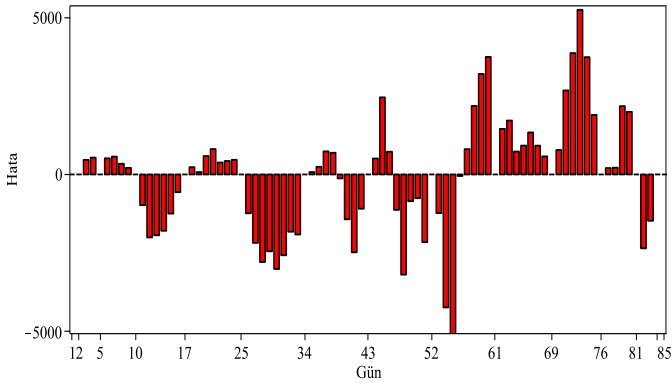
Tablo 2. Verilerin *Metod 1* ile  $\tilde{X}_{14}^B$  ye göre seçilmesi

$j$	$x_j$	$f_j$ : vaka sayısı	Tarih
0	1	5575	18 HAZİRAN 2021
1	2	5480	19 HAZİRAN 2021
2	5	6143	22 HAZİRAN 2021
3	10	4883	27 HAZİRAN 2021
4	17	4418	4 TEMMUZ 2021
5	25	5404	12 TEMMUZ 2021
6	34	8151	21 TEMMUZ 2021
7	43	22083	30 TEMMUZ 2021
8	52	22699	8 AĞUSTOS 2021
9	61	21692	17 AĞUSTOS 2021
10	69	19970	25 AĞUSTOS 2021
11	76	23946	1 EYLÜL 2021
12	81	20962	6 EYLÜL 2021
13	84	23846	9 EYLÜL 2021
14	85	23562	10 EYLÜL 2021

Bu durumda, seçilen günler ve elde edilen interpolasyon polinomu Şekil 4'teki, oluşan interpolasyon hataları ise Şekil 5'teki gibidir. Bu grafikler incelendiğinde, eşit aralıklı seçime göre oluşan hatanın büyük ölçüde azaldığı görülür. Dahası, en büyük hatanın 73-üncü günde olduğu yani gerçekte 17332 vaka varken bu yaklaşım ile 22583 olarak tahmin edileceği görülür.



Şekil 5. Verilerin Metod 1 ile  $\tilde{X}_{14}^B$  ye göre seçilmesiyle elde edilen interpolasyon polinomu



Şekil 6. İnterpolasyon polinomu ile elde edilen değerler ile gerçek değerler arasındaki farklar

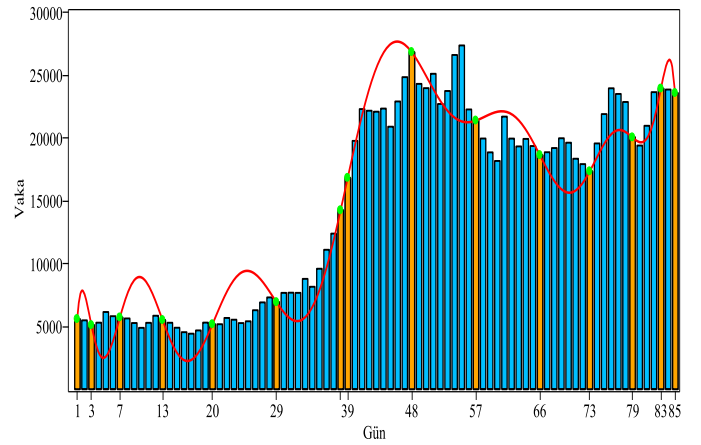
Şimdi ise, yine Method 1 ile verileri  $\tilde{X}_{14}^W$  ye göre Tablo 3'te olduğu gibi seçelim.

Tablo 3. Verilerin Metod 1 ile  $\tilde{X}_{14}^W$  ye göre seçilmesi

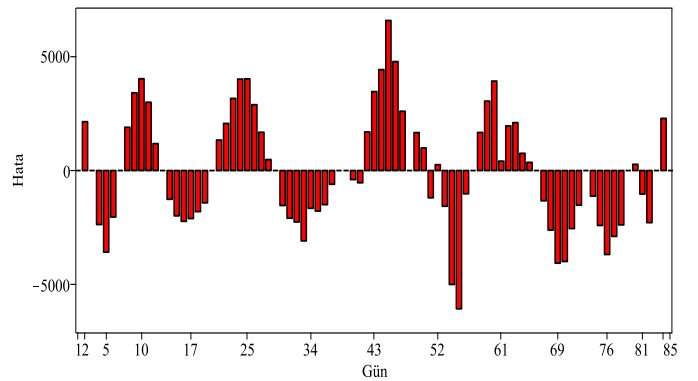
$j$	$x_j$	$f_j$ : vaka sayısı	Tarih
0	1	5575	18 HAZİRAN 2021
1	3	5091	20 HAZİRAN 2021
2	7	5703	24 HAZİRAN 2021
3	13	5496	30 HAZİRAN 2021
4	20	5160	7 TEMMUZ 2021
5	29	6918	16 TEMMUZ 2021
6	38	14230	25 TEMMUZ 2021
7	39	16809	26 TEMMUZ 2021

8	48	26822	4 AĞUSTOS 2021
9	57	21372	13 AĞUSTOS 2021
10	66	18622	22 AĞUSTOS 2021
11	73	17332	29 AĞUSTOS 2021
12	79	20033	4 EYLÜL 2021
13	83	23914	8 EYLÜL 2021
14	85	23562	10 EYLÜL 2021

Bu durumda, seçilen günler ve elde edilen interpolasyon polinomu Şekil 6'daki, oluşan interpolasyon hataları ise Şekil 7'deki gibidir. Bu seçimde, en büyük hatanın 45-inci günde olduğu yani gerçekte 20890 vaka varken bu yaklaşım ile 27452 olarak tahmin edileceği görülür. Burada verilerin mock-Chebyshev noktalarının en kötü seçimi olan  $\tilde{X}_{14}^W$  ye göre seçilse bile eşit aralıklı seçim ile karşılaştırıldığında oluşan hatanın büyük ölçüde azaldığı görülür.



Şekil 7. Verilerin Metod 1 ile  $\tilde{X}_{14}^W$  ye göre seçilmesiyle elde edilen interpolasyon polinomu



Şekil 8. İnterpolasyon polinomu ile elde edilen değerler ile gerçek değerler arasındaki farklar

Başka bir açıdan, bu 85 günlük zaman diliminde her gün değil de sadece 15 gün seçilip bu günlerde test yapılmış ve kalan diğer 70 günlük vakalar ise tahmin edilmek istenseydi, eşit aralıklı gün seçimine göre yapılacak maksimum bağıl hatanın büyüklüğü mock-Chebyshev noktalarının en kötü seçimi olan  $\tilde{X}_{14}^W$  ye göre seçilse bile elde edilenin yaklaşık 36 katı olacaktı.

## 5. Sonuç

Bu çalışmada, polinom interpolasyonda eşit aralıklı noktaların kötü sonuçlarından kaçınmak için önerilen mock-Chebyshev noktalarını daha az işlem yükü ile hesaplayan bir yöntem verildi. Dahası, bu yöntem ile mock-Chebyshev noktalarının birbirinden farklı kümelerinin elde edilebileceği gösterildi. Bu yöntem ile elde edilen noktalara karşılık gelen günlerdeki veriler kullanılarak, Kovid-19 vakalarını ara günlerde tahmin etmek için interpolasyon polinomları elde edildi. Bulunan sonuçlar, günlerin eşit aralıklı olacak şekilde seçilmesi durumunda elde edilecek sonuçlar ile karşılaştırıldı. Bu karşılaştırmada, eşit aralıklı günler için çok büyük interpolasyon hatası elde edilirken, önerilen metod ile elde edilen günler kullanıldığında ise en kötü seçimde bile polinom interpolasyonda optimale yakın sonuç veren Chebyshev noktalarına benzer şekilde, bu hatanın oldukça az olduğu görüldü.

## Kaynakça

- [1] Boyd, J. P., & Xu, F. (2009). Divergence (Runge phenomenon) for least-squares polynomial approximation on an equispaced grid and Mock-Chebyshev subset interpolation. *Applied Mathematics and Computation*, 210(1), 158-168.
- [2] Davis, P.J. (1963). *Interpolation and Approximation*, Blaisdell Publishing Co. Ginn and Co., New York.
- [3] Ibrahimoglu, B.A. (2016). Lebesgue functions and lebesgue constants in polynomial interpolation, *J. Inequal. Appl.* 2016 (1) 93.
- [4] Ibrahimoglu, B.A. (2020). A fast algorithm for computing the mock-Chebyshev nodes, *J. Comput. Appl. Math.* Vol.373, 112336.
- [5] İbrahimoglu, B. A. (2021). Mock-Cebyshev Noktalarında Vandermonde Matrisinin Bir Uygulaması: Kovid-19 Vaka Tahmini . *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi* , (21) , 172-180.
- [6] Ibrahimoglu, B.A. (2021). A new approach for constructing mock-Chebyshev grids, *Math. Meth. Appl. Sci.*
- [7] Runge, C. (1901). Uber empirische Funktionen und die Interpolation zwischen aquidistanten Ordinaten, *Z. Math. Phys.*, 46, 224-243.
- [8] Trefethen, L.N. (2000). *Spectral Methods in MATLAB*, SIAM, Philadelphia.
- [9] <https://www.worldometers.info/coronavirus/country/turkey/>



# Effect of Severe Plastic Deformation on the Mechanical and Electrical Properties of Cr-modified Cu-Ni-Si Alloys

Cagatay Elibol<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> Turkish-German University, Faculty of Science, Department of Materials Science and Engineering, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0002-3595-5259),  
[elibol@tau.edu.tr](mailto:elibol@tau.edu.tr)

(First received 10 September 2021 and in final form 30 November 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1004910)

**ATIF/REFERENCE:** Elibol, C. (2021). Effect of Severe Plastic Deformation on the Mechanical and Electrical Properties of Cr-modified Cu-Ni-Si Alloys. *European Journal of Science and Technology*, (27), 866-872.

## Abstract

Copper alloys are widely used in automotive, electronics, petrochemical and nuclear applications due to their good mechanical/corrosion resistance and conductivity. Although mostly beryllium containing copper alloys are utilized in these industries due to their superior properties. However, due to the toxic effects of beryllium, there is a need for alternative copper alloys. Among the alternative alloys, Cu-Ni-Si alloys known as Corson alloys are commonly preferred. Both alloying and thermomechanical treatments play important roles to attain similar or better properties in this alloy system, compared to the beryllium containing Cu alloys. In this research, a combined thermomechanical treatment is performed in order to characterize the effect of severe plastic deformation and subsequent heat treatments (i.e., precipitation hardening) on strength, hardness and electrical conductivity of Corson alloys modified by Chromium. The copper alloys having different chemical compositions (Cr contents) are processed using equal-channel angular pressing (ECAP) after solution annealing and quenching. The behavior of Cr-modified alloys is characterized in detail and the effect of the combined thermomechanical treatment and of the Cr content on the final mechanical and physical behavior is discussed. The results show that during aging of solution treated alloys containing 0.4, 0.6 and 0.8 wt-% Cr, a significant increase in both hardness and electrical conductivity is observed, and that increasing Cr content also leads to an increase of both properties. After processing by two-pass ECAP, the hardness of all investigated alloys is significantly increased compared with the solution treated state, whereas the electrical conductivity is adversely affected by severe plastic deformation. The mechanical behavior of the ECAPed alloys can be enhanced even further by performing post-ECAP aging. Therefore, it allows us to develop Cu-Ni-Si alloys by severe plastic deformation process, as an alternative to commonly used beryllium containing copper alloys. The preliminary results provide new insights for the development of construction materials that can be used in the electronic industry, high-speed rail systems, aerospace applications and nuclear power plants, which are recently high priority topics.

**Keywords:** Copper alloys, Severe plastic deformation (SPD), Equal channel angular pressing (ECAP), Mechanical and electrical properties, Precipitation (age) hardening

## Cr Modifiyeli Cu-Ni-Si Alaşımlarının Mekanik ve Elektriksel Özellikleri Üzerine Aşırı Plastik Deformasyon Etkisi

### Öz

Bakır alaşımları, sahip oldukları yüksek mukavemet, korozyon direnci ve iletkenlikleri nedeniyle otomotiv, elektronik, petrokimya ve nükleer uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu endüstrilerde üstün özelliklerinden dolayı çoğunlukla berilyum içeren bakır alaşımları kullanılmakla birlikte, berilyumun toksik etkileri nedeniyle alternatif bakır alaşımlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Bunlar arasında *Corson* alaşımları olarak bilinen Cu-Ni-Si alaşımları yaygın olarak tercih edilmektedir. Hem alaşımlama hem de termomekanik işlemler, bu alaşım sisteminde berilyum içeren Cu alaşımlarına kıyasla benzer ve hatta daha iyi özellikler elde etme

\* Corresponding Author: [elibol@tau.edu.tr](mailto:elibol@tau.edu.tr)

noktasında önemli rol oynamaktadır. Bu araştırmada, aşırı plastik deformasyon ve akabinde gerçekleştirilen ısıl işlemlerin (çökeltme sertleşmesi) Cr ile modifiye edilmiş Cu-Ni-Si alaşımlarının mukavemeti, sertliği ve elektrik iletkenliği üzerine etkisini karakterize etmek için kombine termomekanik işlem uygulanmıştır. Farklı kimyasal bileşime (Cr içeriğine) sahip bakır alaşımları, çözeltiliye alma ve su verme işleminden sonra eş kanallı açılal pres (EKAP) yöntemi kullanılarak şekillendirilmiştir. Cr modifiyeli alaşımların davranışı ayrıntılı olarak karakterize edilmiş ve kombine termomekanik işlem ile alaşımdaki Cr içeriğinin nihai mekanik ve fiziksel özellikler üzerine etkisi irdelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, ağırlıkça %0,4, 0,6 ve 0,8 Cr içeren çözeltiliye alınmış alaşımların yaşlandırılması sırasında hem sertlikte hem de elektriksel iletkenlikte önemli bir artış gözlemlendiğini ve artan Cr içeriğinin Cu-Ni-Si alaşımlarının sertliğini ve iletkenliğini artırdığını göstermektedir. İki paso EKAP ile işlemi neticesinde, incelenen tüm alaşımların sertliği çözeltiliye alınmış duruma kıyasla önemli ölçüde artarken, elektriksel iletkenliği aşırı plastik deformasyondan negatif etkilenmiştir. EKAPlanmış alaşımlarının mekanik özellikleri, EKAP sonrası yaşlandırma ile daha da geliştirilebilmektedir. Bu nedenle, yaygın olarak kullanılan bakır-berilyum alaşımlarına alternatif Cu-Ni-Si alaşımlarının aşırı plastik deformasyon ile geliştirilmesi mümkündür. İlk sonuçlar, son zamanların yüksek öncelikli alanları arasında yer alan elektronik endüstrisi, yüksek hız raylı sistemler, uzay/havacılık uygulamaları ile nükleer santrallerde kullanılabilecek yapı malzemelerinin geliştirilmesine ışık tutmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Bakır alaşımları, Aşırı plastik deformasyon, Eş kanallı açılal pres, Mekanik ve elektriksel özellikler, Çökeltme sertleşmesi

## 1. Introduction

Copper and its alloys are used in many different industries such as electronics, automotive and nuclear industries. The range of applications of Cu alloys is extended due to their good strength, wear and corrosion resistance, and high electrical conductivity (Lei et al., 2013a; Lockyer and Noble, 1994). Most of these alloys are generally precipitation hardened and are alloyed with alloying elements (with very low solubility) such as Cr to maintain high electrical conductivity. Cu-Be, Cu-Co-Ni-Be, Cu-Cr-Zr and Cu-Ni-Si alloy families belong to the group of precipitation hardenable copper alloys (Monzen and Watanabe, 2008; Woodcraft et al., 2001; Xie et al., 2009). Various studies on these alloys have been performed to optimize hardness and conductivity as a function of different alloying and heat treatment processes (Xiao, 2020). Although Be containing Cu alloys with their high strength and conductivity are among the precipitation hardenable copper alloys, the toxicity of beryllium and its low stress relaxation at high temperatures require the development of new alloy systems instead of these alloys (Lei et al., 2013a; Lei et al., 2013b).

Zhao et al. (2003) characterized the aging behavior of Cu-Ni-Si alloys. Furthermore, Watanabe et al. (2018) and Li et al. (2009) investigated the deformation behavior of a Cu-Ni-Si alloy processed by high-pressure torsion (HPT) and the microstructural evolution of alloys modified by Sn and Mg, respectively. The microstructure and properties of a high-strength Cu-Ni-Si alloy developed with addition of Co and Cr were analyzed by Krishna et al. (2013). They have reported that aging of the solution treated samples leads to a significant increase in strength and electrical conductivity which is mainly attributed to the formation of precipitates. The contribution of thermomechanical processes, alloying and Ni:Si ratio to the improvement of the alloy properties is remarkable. The hardness values of the modified Cu-Ni-Si alloys processed by conventional thermomechanical treatments (rolling, forging, etc.) with subsequent aging are given in Figure 1a. Cu-Ni-Si alloys can reach hardness values ranging from 190 to 350 HV as a function of both composition and thermomechanical processes. Moreover, high hardness values can only be achieved with high Ni:Si ratios and alloying. The modification and thermomechanical processes would lead to superior mechanical behavior of Cu-Ni-Si alloys compared to Be containing Cu alloys. The change in electrical conductivity levels of these alloys is given in Figure 1b. Although high Ni:Si ratios provide high strength of the alloys, the electrical conductivity can be

significantly reduced with increasing Ni:Si ratio. However, the electrical conductivity values (25-50 IACS %) of the modified and thermomechanically treated Cu-Ni-Si alloys are higher than the conductivity value of the Cu-Be alloys (22 IACS %). Considering both Figures 1a and b, it becomes clear that there is a need for new processes to further enhance the mechanical properties of copper alloys, although it is seen that modified alloys exhibit superior mechanical properties if conventional thermomechanical processes are diversified.

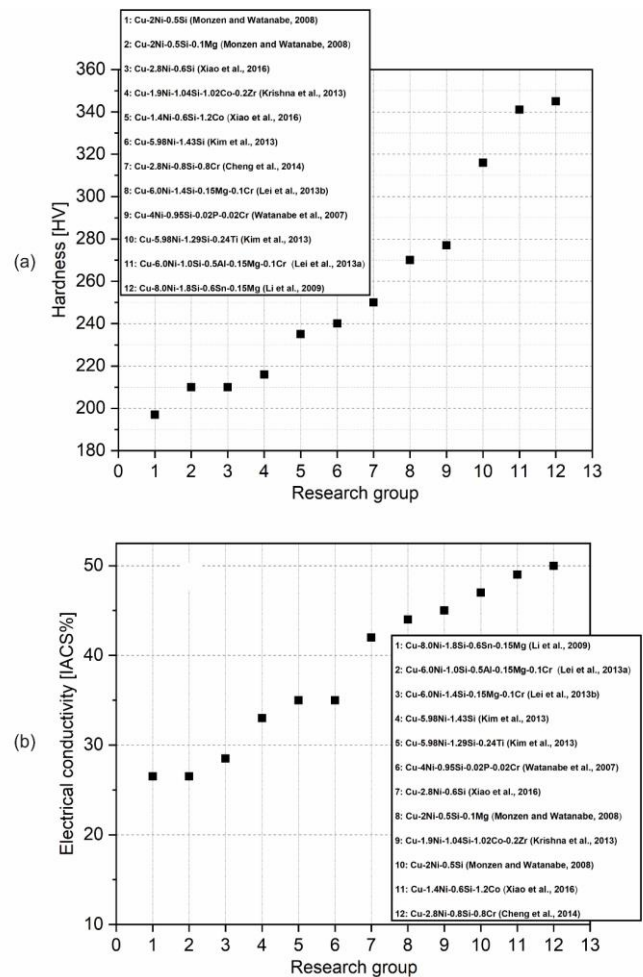


Figure 1. (a) Hardness and (b) electrical conductivity values of modified/processed (by conventional thermomechanical treatments) Cu-Ni-Si alloys investigated by different research groups

Various severe plastic deformation (SPD) methods, particularly equal-channel angular pressing (ECAP) and HPT with subsequent aging processes are used to enhance the mechanical and physical behavior of the alloys due to the grain refinement during SPD process and due to the precipitation hardening during subsequent aging (Valiev et al., 2002; Valiev and Langdon, 2006). Among the SPD techniques, ECAP is widely used to produce ultrafine-grained materials having excellent properties (Valiev and Langdon, 2006; Furukawa et al., 2001; Furuno et al., 2004). Khereddine et al. (2013) have been working on the ECAP processing of Cu-Ni-Si alloys. They processed Cu-2.5Ni-0.6Si alloys with a constant Ni:Si ratio of 5:1 by ECAP and HPT and reported on the change of mechanical properties after SPD. They concluded that the hardness increases with increasing number of torsion revolutions and reaches the highest value of 285 HV after 10 revolutions, whereas the mean grain size and dislocation density of the alloy are equal to 38 nm and  $7.59 \times 10^{15} \text{ m}^{-2}$ , respectively. In the alloy processed by ECAP after 12 passes, the highest hardness value (195 HV) is reached and the mean grain size and the dislocation density are equal to 44 nm and  $4.91 \times 10^{15} \text{ m}^{-2}$ , respectively. As can be clearly seen, ultrafine-grained structures and increasing the dislocation density in the matrix achieved by SPD processes provide a significant improvement of the properties of this alloy system. In this work, the effect of ECAP process and precipitation hardening during subsequent aging as well as of the Cr addition/content on the mechanical and physical behavior of Cu-Ni-Si alloys having different Cr contents is investigated systematically.

## 2. Material and Method

In this work, the effect of ECAP process and precipitation hardening on the mechanical and electrical properties of Cu-Ni-Si alloys modified by Cr was investigated. The chemical compositions of the investigated alloys are shown in Table 1. Ni:Si ratio in all investigated alloys is constant (~2:1) and the content of Cr alloying element is equal to 0.4, 0.6 and 0.8.

Table 1. Chemical compositions of the Cu alloys investigated in this study

Alloy	Cu	Ni	Si	Cr
CuNiSi-Cr	98.2	0.25	0.107	0.4
CuNiSi-Cr	99	0.035	0.015	0.6
CuNiSi-Cr	98.8	0.04	0.026	0.82

The solution annealing with subsequent quenching and aging, ECAP processing and post-ECAP aging at 450 °C for 2, 4, 6 and 8 h were performed (s. Figure 2) and after each step, the mechanical and electrical properties were characterized by the quasi-static, uniaxial tensile tests ( $\dot{\epsilon} \sim 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ ), the hardness and electrical conductivity measurements with regard to the effect of the combined thermomechanical treatment (i.e., ECAP + post-ECAP aging / precipitation hardening) and the Cr content on the alloy properties.

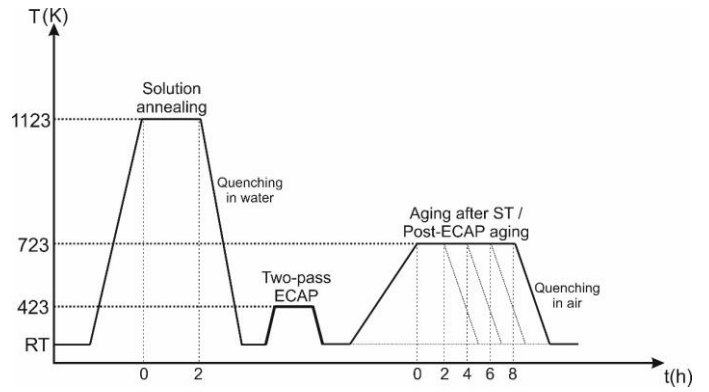


Figure 2. Procedure of the conventional heat treatment vs. combined thermomechanical treatment of the investigated Cu alloys

Two-pass ECAP processing of the investigated Cu alloys were performed at 423 K using a die with a channel/corner angle of  $90^\circ/0^\circ$  via route Bc ( $90^\circ$  counterclockwise rotation between passes) (s. Figure 3). During ECAP processing, the pressing speed of hydraulic press with 120 tons capacity was set to  $20 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ .

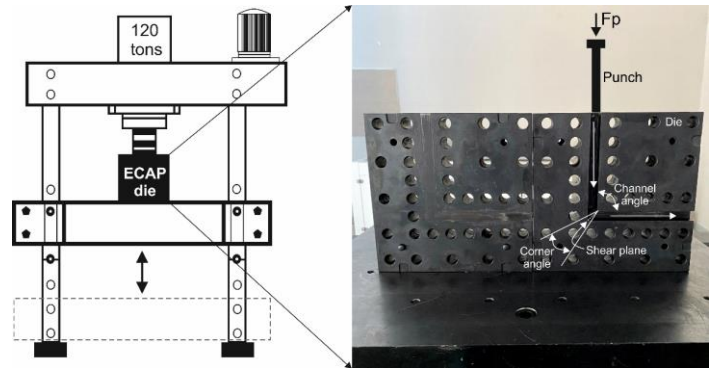


Figure 3. Hydraulic press and ECAP die with the channel angle of  $90^\circ$  and corner angle of  $0^\circ$  used in this study

Tensile tests were performed using a universal testing machine (Schimadzu AGX-V 100 kN) at room temperature under quasi-static loading conditions ( $\dot{\epsilon} \sim 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ ). The microhardness measurements (with a load of 0.5 kg and dwell time of 20 s) were conducted using a Vickers microhardness tester (Microbul 1000 DN-AT). Electrical conductivity of Cu alloys was measured using an eddy current electrical conductivity meter (AutoSigma 3000DL). Samples for tensile tests, hardness and electrical conductivity measurements were cut from the center of the non-ECAPed and ECAPed billets along the longitudinal (ECAP) direction (s. Figure 4).

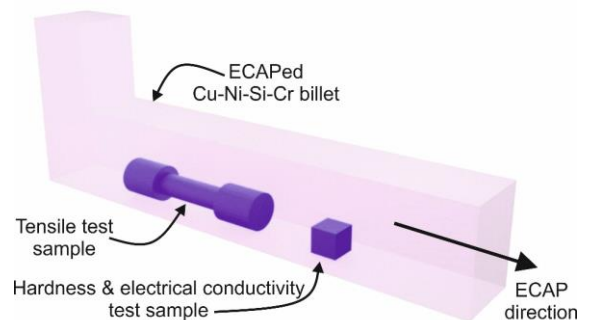


Figure 4. Schematic illustration of the cutting direction of samples for the characterization

### 3. Results and Discussion

In Figure 5a and b, the measured hardness and electrical conductivity values of the Cu-Ni-Si-Cr alloys processed by conventional heat treatment (solution treatment (ST) + aging) and by combined thermomechanical treatment (ST + ECAP + post-ECAP aging) are plotted as a function of aging time and Cr content. During aging at 723 K, the hardness of both ST and ECAPed alloys increase with increasing aging time due to precipitation with a homogeneous distribution (Cheng et al., 2014). The precipitation formation leads to decreasing solute content in the matrix and decreasing electrical resistivity (reciprocal of electrical conductivity) (Lei et al., 2017; Ahn et al., 2020). Therefore, increasing aging time (i.e., increasing volume fraction of precipitates) results in increasing conductivity in all investigated state. In early phase of aging, the increase in conductivity is more pronounced due to the faster precipitation. Furthermore, both the hardness and conductivity of the investigated alloys increase with increasing Cr content. The highest value of the electrical conductivity (~50 IACS%) is reached in the alloy with 0.8% Cr after processing by conventional heat treatment. ECAP processing results in decreasing electrical conductivity of all investigated alloy groups with different Cr contents due to the increasing resistivity (increased electrons scattering) by severe plastic deformation (Arenas et al., 2015), whereas the hardness of ECAPed alloys is significantly higher compared with ST alloys due to the increased number of grain boundaries of the material processed by ECAP. The hardness and electrical conductivity values measured as a function of different investigated states and Cr contents are listed in Table 2.

Table 2. Hardness and electrical conductivity values of Cu-Ni-Si-Cr alloys for different states and Cr contents investigated in this study

Investigated state	Cr content (%)	ECAPed + Peak aged (6 h)	ST + Peak aged (6 h)	ST
Hardness (HV0.5)	0.8	190	126	108
	0.6	174	116	106
	0.4	170	114	100
Electrical conductivity (IACS%)	0.8	46.5	50	27.5
	0.6	40	45	24
	0.4	35	39	16

Figure 6 shows the engineering stress-strain curves for solution treated (ST), peak aged (PA at 723 K for 6 h) and ECAPed samples with different Cr contents under uniaxial tensile loading at room temperature and a  $\dot{\epsilon} \sim 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ . The ultimate strains and tensile strengths obtained from mechanical responses are listed in Table 3. Two-pass 90° ECAP processing results in a considerable increase of tensile strength of all investigated alloys compared to the ST samples due to the grain refinement by ECAP according to the *Hall-Petch relation* (Petch, 1953) and due to the increasing dislocation density by strain hardening. Cu-Ni-Si alloy with 0.8% Cr exhibits the highest tensile strength of ~360 MPa, ~570 MPa and ~470 MPa in ST, PA and ECAPed states, respectively. After processing by two-pass ECAP, only one tensile test specimen could be cut from the ECAPed billet. However, it is well-known that the post-ECAP peak aging should lead to a higher tensile strength than that of 570 MPa in PA state due to the subsequent additional precipitation hardening (as can also be seen in the hardness plots in Figure 5a based on the general relation between strength and hardness). In multi-pass ECAPed alloys, it is expected that plastic deformation mainly occurs by twinning instead of dislocation slip due to the high dislocation density which strongly hinders the dislocation motion. The twinning mechanism has a similar effect on the strengthening of the materials as the grain refinement. ECAP processing results in higher tensile strengths of Cu-Ni-Si alloys with 0.6% and 0.4% Cr compared with that after solution treatment followed by peak aging. The mechanical properties can be improved even further by post-ECAP aging.

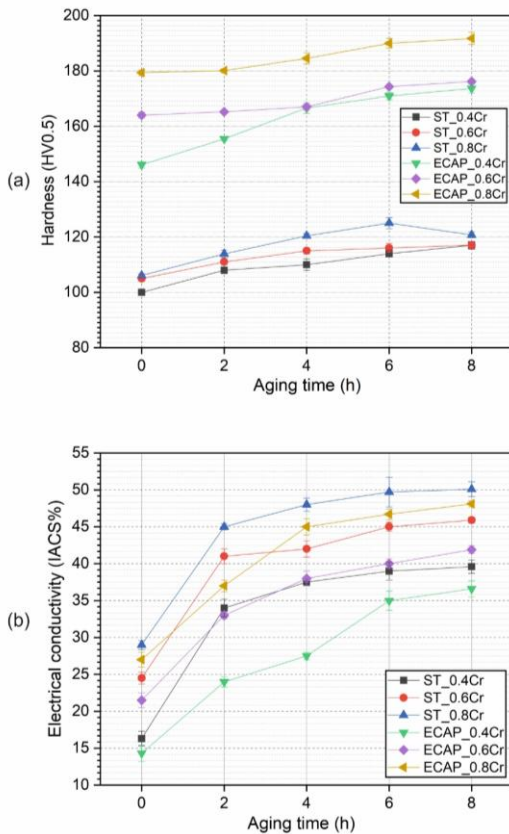


Figure 5. (a) Hardness and (b) electrical conductivity values of the solution treated (ST) and ECAPed Cu-Ni-Si alloys modified by 0.4, 0.6 and 0.8% Cr as a function of aging time at 723 K

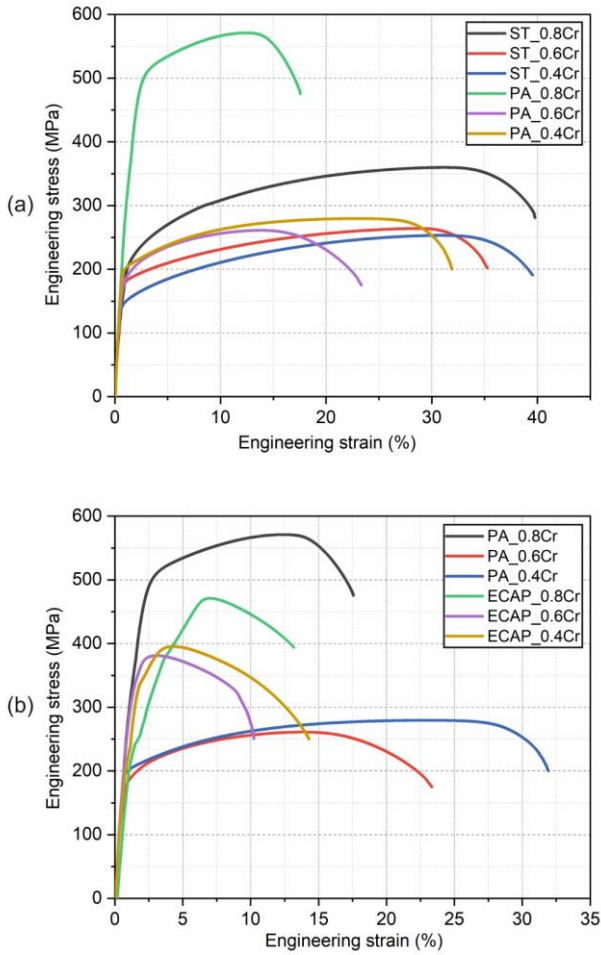


Figure 6. Engineering stress-strain curves of Cu-Ni-Si-Cr alloys with different Cr contents for (a) ST and PA states and (b) PA and ECAPed state

It is noteworthy that the ultimate strain (i.e., the ductility) and the uniform elongation of the Cu-Ni-Si-Cr alloys are strongly decreased by ECAP processing (s. Table 3). This is attributed to the early-stage strain (deformation) localization and subsequent early-stage fracture that may occur in fine grained metals processed by severe plastic deformation due to the prevention of the formation and accumulation of new dislocations by means of the microstructural characteristics such as high/critical dislocation density, substructures formed in elongated grains, and high internal stresses (Frint and Wagner, 2004; Ma et al., 2009).

## 4. Conclusions and Recommendations

In this study, the effect of ECAP and Cr content on the mechanical and electrical properties of precipitation hardening Cu-Ni-Si alloys was systematically characterized by subjecting the alloys to both the conventional heat treatment and the combined thermomechanical treatment. The results are summarized below:

- The hardness of Cu-Ni-Si-Cr alloys increases with increasing Cr content (in the investigated range of 0.4 to 0.8): After solution treatment, the hardness values of the alloys with 0.8% Cr, 0.6% Cr and 0.4% Cr content are equal to 108, 106 and 100 HV0.5, respectively. Furthermore, two-pass ECAP processing results in a significant increase of

hardness for all investigated alloy compositions: After aging of the alloys with 0.8% Cr, 0.6% Cr and 0.4% Cr content at 723 K for 6 h, an increase of ~51%, ~50% and ~49% occurs, respectively. This is attributed to the mechanisms of strain hardening and grain refinement by ECAP processing, and of precipitation hardening by aging.

- An increase in the Cr content leads to increasing conductivity of the Cu-Ni-Si-Cr alloys, whereas ECAP processing results in a significant decrease of electrical conductivity (i.e., increase of resistivity) due to the increased probability of electrons scattering by severe plastic deformation. The conductivity increases during aging at 723 K with increasing aging time due to the decreasing solute content in the matrix caused by the formation of precipitates.
- After processing of the Cu alloys investigated in this study by ECAP, due to the strain hardening and grain refinement, the yield (and tensile) strength is increased significantly, whereas the ductility of the ECAPed alloys is decreased considerably due to the localization of the deformation during the ECAP process, which may lead to an early-stage strain localization during post-ECAP plastic deformation.

Further investigations on Cu-Ni-Si alloys with different Ni:Si ratios and Cr contents should be performed by ECAP processing, and new strategies should be developed to solve the problems that may occur in the processing of modified alloys, especially in the case of high Ni:Si ratios. Thus, a matrix of Cu-Ni-Si alloys that exhibits high strength and electrical conductivity after severe plastic deformation can be designed with varying the Ni:Si ratio and content of the alloying elements.

## 5. Acknowledge

The author gratefully acknowledges the financial support of the Scientific Research Projects Unit of Turkish-German University (project number: 2019BF0004).



Table 3. Ultimate strain and tensile strength values of Cu-Ni-Si-Cr alloys for different states and Cr contents investigated in this study

Investigated state	Solution treated (ST)			Peak aged (PA)			ECAPed			
	Cr content (%)	0.4	0.6	0.8	0.4	0.6	0.8	0.4	0.6	0.8
Tensile strength (MPa)		250	255	360	270	265	570	390	383	470
Ultimate strain (%)		39	35	40	32	23	17.5	14	9	14

## References

- Lei, Q., Li, Z., Xiao, T., Pang, Y., Xiang, Z.Q., Qiu, W.T., & Xiao, Z. (2013a). A new ultrahigh strength Cu-Ni-Si alloy. *Intermetallics*, 42, 77–84. <https://doi.org/10.1016/j.intermet.2013.05.013>
- Lockyer, S.A., & Noble, F.W. (1994). Precipitate structure in a Cu-Ni-Si alloy. *J. Mater. Sci.*, 29, 218–226. <https://doi.org/10.1007/BF00356596>
- Monzen, R., & Watanabe, C. (2008). Microstructure and mechanical properties of Cu-Ni-Si alloys. *Mater. Sci. Eng. A*, 483–484, 117–119. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2006.12.163>
- Woodcraft, A., Sudiwala, R., & Bhatia, R. (2001). The thermal conductivity of C17510 beryllium-copper alloy below 1 K. *Cryogenics*, 41, 603–606. [https://doi.org/10.1016/S0011-2275\(01\)00127-8](https://doi.org/10.1016/S0011-2275(01)00127-8)
- Xie, H., Jia, L., & Lu, Z. (2009). Microstructure and solidification behavior of Cu-Ni-Si alloys. *Materials Characterization*, 60, 114–118. <https://doi.org/10.1016/j.matchar.2008.07.008>
- Xiao, T., Sheng, X.-F., Lei, Q., Zhu, J.-L., Li, S.Y., Liu, Z.R., & Zhou, L. (2020). Effect of Magnesium on Microstructure Refinements and Properties Enhancements in High-Strength CuNiSi Alloys. *Acta Metall. Sin.*, 33, (2020) 375–384. <https://doi.org/10.1007/s40195-019-00953-9>
- Lei, Q., Li, Z., Dai, C., Wang, J., Chen, X., Xie, J.M., Yang, W.W., & Chen, D.L. (2013b). Effect of aluminum on microstructure and property of Cu-Ni-Si alloys, *Mater. Sci. Eng. A*, 572, 65–74. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2013.02.024>
- Zhao, D., Dong, Q.M., Liu, P., Kang, B.X., Huang, J.L., & Jin, Z.H. (2003). Aging behavior of Cu-Ni-Si alloy. *Mater. Sci. Eng. A*, 361, 93–99. [https://doi.org/10.1016/S0921-5093\(03\)00496-9](https://doi.org/10.1016/S0921-5093(03)00496-9)
- Watanabe, H., Kunimine, T., Watanabe, C., Monzen, R., & Todaka, Y. (2018). Tensile deformation characteristics of a Cu-Ni-Si alloy containing trace elements processed by high-pressure torsion with subsequent aging. *Mater. Sci. Eng. A*, 730, 10–15. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2018.05.090>
- Li, Z., Pan, Z.Y., Zhao, Y.Y., Xiao, Z., & Wang, M.P. (2009). Microstructure and properties of high-conductivity, super-high-strength Cu-8.0Ni-1.8Si-0.6Sn-0.15Mg alloy. *J. Mater. Res.*, 24, 2123–2129. <https://doi.org/10.1557/jmr.2009.0251>
- Krishna, S.C., Srinath, J., Jha, A.K., Pant, B., Sharma, S.C., & George, K.M. (2013). Microstructure and properties of a high-strength Cu-Ni-Si-Co-Zr alloy. *J. Mater. Eng. Perform.*, 22, 2115–2120. <https://doi.org/10.1007/s11665-013-0482-6>
- Valiev, R.Z., Alexandrov, I.V., Zhu, Y.T., & Lowe, T.C. (2002). Paradox of Strength and Ductility in Metals Processed by Severe Plastic Deformation. *J. Mater. Res.*, 17, 5–8. <https://doi.org/10.1557/jmr.2002.0002>
- Valiev, R.Z., & Langdon, T.G. (2006). Principles of equal-channel angular pressing as a processing tool for grain refinement. *Progress in Materials Science*, 51, 881–981. <https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2006.02.003>
- Furukawa, M., Horita, Z., Nemoto, M., & Langdon, T.G. (2001). Processing of metals by equal-channel angular pressing. *J. Mater. Sci.*, 36, 2835–2843. <https://doi.org/10.1023/A:1017932417043>
- Furuno, K., Akamatsu, H., Oh-ishi, K., Furukawa, M., Horita, Z., & Langdon, T.G. (2004). Microstructural development in equal-channel angular pressing using a 60° die. *Acta Mater.*, 52, 2497–2507. <https://doi.org/10.1016/j.actamat.2004.01.040>
- Khereddine, A.Y., Larbi, F.H., Kawasaki, M., Baudin, T., Bradai, D., & Langdon, T.G. (2013). An examination of microstructural evolution in a Cu-Ni-Si alloy processed by HPT and ECAP. *Materials Science and Engineering A*, 576, 149–155. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2013.04.004>
- Xiao, X.P., Yi, Z.Y., Chen, T.T., Liu, R.Q., & Wang, H. (2016). Suppressing spinodal decomposition by adding Co into Cu-Ni-Si alloy. *Journal of Alloys and Compounds*, 660, 178–183. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2015.11.103>
- Kim, H.G., Lee, T.W., Kim, S.M., Han, S.Z., Euh, K., Kim, W.Y., & Lim, S.H. (2013). Effects of Ti Addition and Heat Treatments on Mechanical and Electrical Properties of Cu-Ni-Si Alloys. *Met. Mater. Int.*, 19, 61–65. <https://doi.org/10.1007/s12540-013-1011-8>
- Cheng, J.Y., Tang, B.B., Yu, F.X., & Shen, B. (2014). Evaluation of nanoscaled precipitates in a Cu-Ni-Si-Cr alloy during aging. *Journal of Alloys and Compounds*, 614, 189–195. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2014.06.089>

- Watanabe, C., Nishijima, F., Monzen, R., & Tazaki, K. (2007). Mechanical Properties of Cu-4.0wt%Ni-0.95wt%Si Alloys with and without P and Cr Addition. *Materials Science Forum*, 561-565, 2321–2324. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.561-565.2321>
- Lei, Q., Xiao, Z., Hu, W., Derby, B., & Li, Z. (2017). Phase transformation behaviors and properties of a high strength Cu-Ni-Si alloy. *Mater. Sci. Eng. A*, 697, 37–47. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2017.05.001>
- Ahn, J.H., Han, S.Z., Choi, E.-A., Lee, H., Lim, S.H., Lee, J., Kim, K., Hwang, N.M., & Han, H.N. (2020). The effect of bimodal structure with nanofibers and normal precipitates on the mechanical and electrical properties of Cu-Ni-Si alloy. *Materials Characterization*, 170, 110642. <https://doi.org/10.1016/j.matchar.2020.110642>
- Arenas, C., Henriquez, R., Moraga, L., Munoz, E., & Munoz, R.C. (2015). The effect of electron scattering from disordered grain boundaries on the resistivity of metallic nanostructures. *Applied Surface Science*, 329, 184–196. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2014.12.045>
- Petch, N.J. (1953). The Cleavage Strength of Polycrystals. *The Journal of the Iron and Steel Institute*, 174, 25–28.
- Frint, P., & Wagner, M.F.-X. (2019). Strain partitioning by recurrent shear localization during equal-channel angular pressing of an AA6060 aluminum alloy. *Acta Mater.*, 176, 306–317. <https://doi.org/10.1016/j.actamat.2019.07.009>
- Ma, A., Jiang, J., Saito, N., Shigematsu, I., Yuan, Y., Yang, D., & Nishida, Y. (2009). Improving both strength and ductility of a Mg alloy through a large number of ECAP passes. *Mater. Sci. Eng. A*, 513-514, 122–127. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2009.01.040>



# The Performance of Artificial Neural Network Approaches to Estimate the Nitrate Concentration in Groundwater

Asli Coban<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> University College Dublin, School of Mechanical and Materials Science, Dublin, Ireland, (ORCID: 0000-0002-3020-0164), [asli.coban@ucd.ie](mailto:asli.coban@ucd.ie)

(First received 22 January 2021 and in final form 21 November 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.866497)

**ATIF/REFERENCE:** Coban, A. (2021). The Performance of Artificial Neural Network Approaches to Estimate the Nitrate Concentration in Groundwater. *European Journal of Science and Technology*, (27), 873-879.

## Abstract

The estimation of the pollution concentration in groundwater is important, since it is one of the key resources of water supply. Nitrate (NO<sub>3</sub>-N) is one of the well-known indicator parameters in groundwater pollution. Using historical data, artificial neural networks can be utilized to estimate the nitrate concentration in groundwater. In this study, a sample dataset, which is derived from a survey analysis in the literature, is used to estimate the nitrate concentration of groundwater (i.e., target parameter) with respect to six different characteristics (i.e., input parameters). The effect of different hydrogeological parameters of the wells on the nitrate concentration is focused for the first time in this study. The performance of two different ANN approaches, namely BPNN and GRNN, is evaluated comparatively by means of their regression performances. Considering regression results of ANN models, it can be concluded that the GRNN (R=0.99) algorithm works slightly better than the BPNN (R=0.98) algorithm with this dataset. Correlation results indicate that the most important characteristics of the wells to estimate the nitrate pollution are the well depth, depth below water table, clay above screen, and depth to well screen, respectively. Moreover, all these characteristics are inversely related to nitrate concentration of the well.

**Keywords:** Groundwater, Nitrate Pollution, Artificial Neural Network, Regression, BPNN, GRNN.

## Yapay Sinir Ağı Yaklaşımlarının Yeraltı Suyundaki Nitrat Konsantrasyonunu Tahmin Etme Performansı

### Öz

Su temininde temel kaynaklardan olduğu için yeraltı suyundaki kirlilik konsantrasyonunun tahmini önemlidir. Nitrat (NO<sub>3</sub>-N) yeraltı suyu kirliliğinde iyi bilinen gösterge parametrelerinden birisidir. Yapay sinir ağları (YSA) geçmiş veriler kullanılarak yeraltı suyundaki nitrat konsantrasyonunu tahmin etmek için kullanılabilir. Bu çalışmada, literatürdeki bir kuyu analizinden türetilen örnek bir veri seti, altı farklı kuyu özelliğine (girdi parametrelerine) göre yeraltı suyunun nitrat konsantrasyonunu (hedef parametre) tahmin etmek için kullanılmıştır. Kuyuların farklı hidrojeolojik parametrelerinin nitrat konsantrasyonu üzerindeki etkisine ilk kez bu çalışmada dikkat çekilmiştir. BPNN ve GRNN olmak üzere iki farklı YSA yaklaşımının performansı, regresyon performansları üzerinden karşılaştırılmalı olarak değerlendirilmektedir. YSA modellerinin regresyon sonuçlarına bakıldığında, bu veri seti ile GRNN (R=0.99) algoritmasının BPNN (R=0.98) algoritmasından biraz daha iyi çalıştığı sonucuna varılabilir. Korelasyon sonuçları, nitrat kirliliğini tahmin etmek için kuyuların en önemli özelliklerinin sırasıyla kuyu derinliği, su tablasının altındaki derinlik, elek üstü kil ve kuyu ızgarasına derinlik olduğunu göstermektedir. Ayrıca tüm bu özellikler kuyunun nitrat konsantrasyonu ile ters orantılıdır.

**Anahtar Kelimeler:** Yeraltı Suyu, Nitrat Kirliliği, Yapay Sinir Ağı, Regresyon, BPNN, GRNN.

\* Corresponding Author: [asli.coban@ucd.ie](mailto:asli.coban@ucd.ie)

## 1. Introduction

Groundwater is the most important drinking water supply throughout the world, especially where the water resources are limited or polluted. In general, groundwater supplies roughly half of all drinking water in the world [1]. Additionally, the groundwater contributes to surface water resources through the watershed. Agricultural practices, especially excessive use of fertilizers, causes the largest diffusion threat to groundwater quality on a global scale [2-3]. Since the nitrate (NO<sub>3</sub>-N) is one of the main groundwater pollutants and can directly affect human health, it is important to evaluate the nitrate concentration in groundwater.

The natural nitrate concentration in groundwater under aerobic conditions is very low (a few milligrams per liter) and relies upon heavily on soil type and on the geological situation [4]. However, it can rise high levels through agricultural runoff, refuse dump runoff, or contamination with human or animal wastes [2]. Wells, drilled into the aquifers, enable the groundwater to be pumped out. Hence aquifer/well characteristics are other important parameters affecting the nitrate concentration in groundwater. There are different driving parameters affecting the nitrate concentration in groundwater [5]. They can be chemical or hydrogeological variables. The well depth, depth to static water table, clay above screen, well density, depth to well screen, and depth below water table (i.e., depth to groundwater) can be classified as hydrogeological variables. The depth to static water table measures the depth to groundwater level and it is being a proxy to the time that contaminants require to reach the aquifer [6]. Higher density of wells means the spatial pattern of irrigation return and more pollutant leachate into the soil and groundwater consequently [5]. Higher density areas are where potential impacts to groundwater quantity and quality will be the greatest. The potential for groundwater pollution usually increases by lower depth to groundwater [5]. It is also known that groundwater pollution in clayey formations is higher than in well-drained sandy plains [7]. Wells with long screen lengths may facilitate cross-contamination between contaminated zones [8].

Artificial neural networks (ANNs) present an information-processing paradigm for pattern recognition which is generally

used in situations where the relationships between data are not very complex and linear [9-10]. ANNs use input-output response patterns to estimate the underlying governing rules of the output responses considering specific inputs in a convoluted physical space [9]. The aim of the training process for ANNs is to calculate the optimal weights of the links in the neural net by minimizing the overall prediction error which is known as empirical risk minimization [9]. Different machine learning models have been investigated to estimate the groundwater nitrate concentration in the literature. Table 1 represents the summary of the reviewed studies reporting the implementation of machine learning models, namely ANN and SVM, for the purpose of nitrate concentration estimation in groundwater.

Different physical, chemical, and hydrogeological parameters can be used as input variables to estimate the nitrate concentration in groundwater. Considering research remarks of the reviewed studies, it can be concluded that the applied models are robust with promising results.

In this study, a sample dataset, which is derived from a survey analysis in the literature, is used to estimate the nitrate concentration of groundwater (i.e., target parameter) with respect to six different well characteristics (i.e., input parameters). The effect of different hydrogeological parameters of the wells on the nitrate concentration is focused for the first time in this study. The performance of two different ANN approaches is evaluated comparatively by means of their regression performances. The backpropagation neural network (BPNN) and the generalized regression neural network (GRNN) were chosen as ANN approaches for this study. A multilayer perceptron (MLP) is a class of feedforward ANN which utilizes a supervised learning method for training called backpropagation (BP). A MLP neural network trained by BP algorithms, also known as the BPNN, is the most typical type of ANN which is broadly employed in environmental pollution controls [25]. GRNN as a special variation of the radial basis function neural network is being used in the field of environmental pollution controls as well [24]. Relying on nonlinear Gaussian kernel regression, a GRNN has strong nonlinear mapping ability and is able to get decent results even when the data is ambiguous [24].

Table 1. The summary of the reviewed studies reporting the implementation of machine learning models (ANN and SVM)

Reference	Case study region	Applied models	Performance metrics
[11]	Sangamon River, USA	BPNN, RBFNN	RMSE
[12]	Harran Plain, Turkey	MLP with BP and Levenberg–Marquardt	R-value, MSE
[13]	Kutahya, Turkey	BPNN	MSE, MAPE
[14]	Kadava River basin, Nashik, Maharashtra, India	MLP with Levenberg–Marquardt	R <sup>2</sup> , RMSE, MARE
[15]	Shandong, China	BPNN	R-value
[16]	Northern part of Iran	BPNN, RBFNN	MSE
[17]	Central Valley, California	BRT, ANN, Bayesian networks	R <sup>2</sup>
[18]	Bethune, France	MLP with BP	R-value
[19]	African continent	RFR, MLR	R <sup>2</sup>
[20]	Marvdasht watershed, Iran	SVM, Cubist, random forest, Bayesian-ANN	R <sup>2</sup> , MAE, RMSE, Nash–Sutcliffe efficiency (NSE)
[21]	Gaza Strip, Palestine	MLP, RBFNN	RMSE, R-value, MAE
[22]	Gaza Strip, Palestine	MLP with BP and Levenberg–Marquardt, SVM	R-value, MAPE, NSE
[23]	Gaza Strip, Palestine	MLP, RBF, GRNN, and linear networks.	R-value
[24]	Arak plain, Iran	SVM	RMSE

## 2. Material and Method

The sample well survey data used in this study is adapted from a study in the literature [26]. Table 2 represents the nitrate concentration (NO<sub>3</sub>-N, mg/L) levels of different wells with respect to different well characteristics. Although there are different supervised machine learning approaches for regression,

BPNN and GRNN are chosen for this study. Hydrogeological variables such as the well depth, depth to static water table, clay above screen, well density, depth to well screen, and depth below water table are considered potential factors influencing nitrate contamination in this study. Hence these six parameters are utilized as the input parameters whereas the NO<sub>3</sub>-N concentration is used as the target parameter.

Table 2. Sample well survey analysis

Well No	Well depth (m)	Depth to static water table (m)	Clay above screen (m)	Well density	Depth to well screen (m)	Depth below water table (m)	NO <sub>3</sub> -N (mg/L)
1	10.9	3.9	0.3	1.0	7.6	3.6	11.5
2	31.7	3.6	4.8	1.0	19.5	15.9	3.8
3	23.7	6.4	14.0	1.0	14.6	8.2	4.0
4	17.3	5.5	3.9	1.0	14.3	8.8	5.2
5	27.4	3.0	13.1	4.0	21.3	18.3	1.7
6	14.0	2.4	2.1	2.0	7.9	5.5	5.9
7	28.0	3.9	14.6	1.0	18.5	14.6	3.6
8	8.9	1.8	4.3	1.0	58.8	4.0	3.4
9	12.2	2.1	2.7	1.0	6.1	4.0	6.3
10	16.7	3.9	3.6	3.0	13.7	9.8	8.1
11	21.0	4.5	0.0	3.0	17.0	12.5	1.8
12	19.8	6.1	9.1	5.0	13.7	7.6	8.3
13	18.6	5.7	10.9	1.0	15.5	9.8	2.5
14	36.6	8.2	17.6	2.0	24.3	16.1	2.5
15	15.8	6.7	9.1	2.0	12.8	6.1	7.9
16	18.3	4.2	7.3	4.0	7.9	3.7	2.5
17	13.7	4.3	6.1	4.0	10.6	6.3	9.9
18	25.6	6.4	9.1	1.0	14.6	8.2	3.6
19	18.3	4.5	5.5	2.0	12.2	7.7	8.8
20	18.3	7.9	11.2	0.0	15.2	7.3	5.2
21	18.3	5.8	9.4	0.0	13.4	7.6	1.3
22	21.0	5.5	12.5	1.0	17.9	12.4	4.0
23	41.2	7.0	10.3	3.0	21.3	14.3	3.8
24	28.6	7.6	20.1	1.0	22.5	14.9	5.9
25	16.7	6.7	9.1	1.0	14.3	7.6	6.3
26	18.3	7.3	9.1	2.0	12.2	4.9	5.9
27	18.3	8.2	5.2	2.0	12.2	4.0	3.4
28	31.4	9.1	9.4	3.0	19.2	10.1	4.7
29	21.3	6.4	10.3	5.0	18.2	11.8	9.5
30	25.9	5.2	20.7	3.0	23.2	18.0	1.4
31	26.5	7.3	10.6	2.0	20.4	13.1	2.9
32	11.5	3.6	4.8	5.0	10.3	6.7	7.6

In BPNN method, data preprocessing is performed using minimum-maximum normalization which preserves the relationship between the original data [27]. The raw data is normalized before directing to training and testing through altering the data to the range of 0 to 1 to increase the speed and accuracy of ANN performance [28]. As stated in Table 2, six input parameters and one target parameter are used to perform the BPNN algorithm using MATLAB®.

The number of hidden layers and output layer are used in BPNN approach are given in Fig 1. The BPNN model is trained

using the Levenberg-Marquardt function. Performance of the algorithm is determined using MSE parameter and the number of epochs is chosen as 40,000. The construction of the network (the number of neurons in hidden layers) are decided by trial and error.

As another approach GRNN is applied to the same dataset (raw data) including six input parameters and one target parameter using MATLAB®. The results of two different algorithms are compared by means of their R-values.

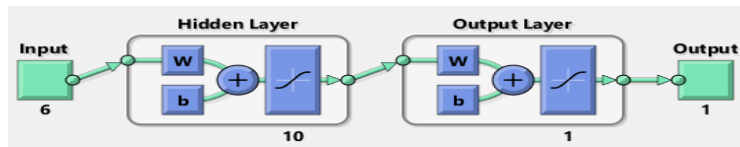


Fig 1. The architecture of the network

### 3. Results and Discussion

Linear regression analysis is performed for training, validation, and testing, to evaluate the relation among the outputs of the network and the targets. The training, validation, and test results of BPNN algorithm are given in Fig 2 with corresponding R-values.

In each plot, the dashed line describes the ideal result (i.e., outputs=targets), while the solid line presents the best fit linear regression. As the R-value reaches to 1, then there is an exact linear relationship. The regression results (i.e., R-values) are 0.98, 0.98, and 0.97 for training, validation, and test, respectively. Those results are approaching to a total response of 0.98.

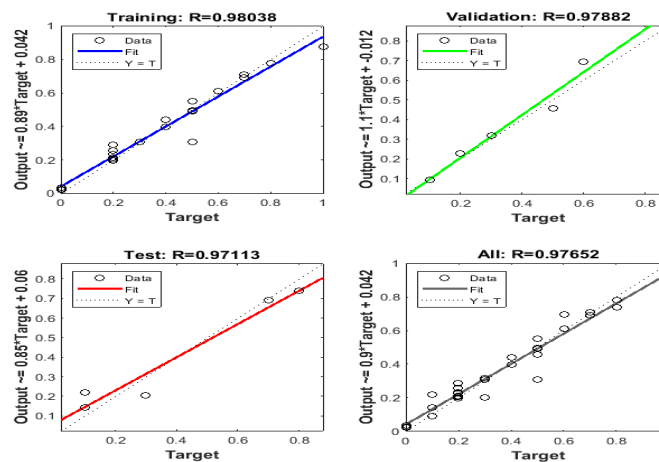


Fig 2. The training, validation, and test results of BPNN algorithm

The best validation performance of the model is given in Fig 3. In general, there is no correct value for MSE. The lower value is better and zero means the model is perfect and the predicted values are equal to measured values [29]. Considering R-values in Fig 2 and the MSE value (MSE=0.0024) in Fig 3, it can be concluded that the results of BPNN algorithm are promising for the estimation of nitrate concentration levels of wells if the hydrogeological parameters of the well are specified.

The result of GRNN algorithm is given in Fig 4. Considering regression results (R=0.99) in the Fig 4, it can be concluded that GRNN algorithm works slightly better than BPNN algorithm with this dataset.

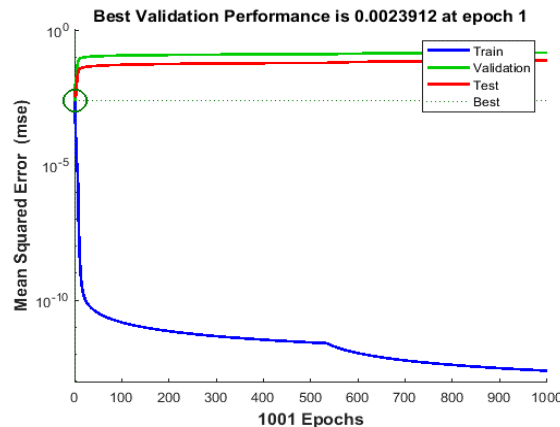


Fig 3. The best validation performance of the model

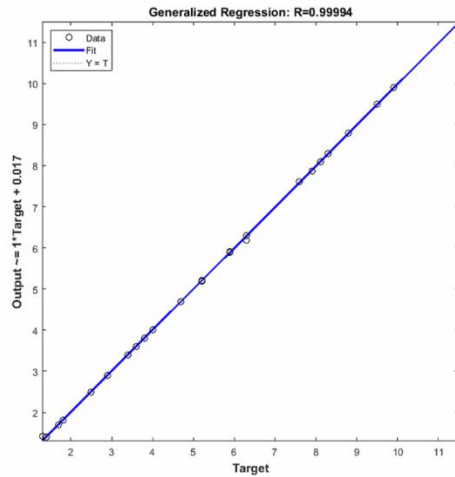


Fig 4. The result of GRNN algorithm

The R-values obtained in this study correlate with the literature values related to the nitrate concentration estimation using ANN approaches which are ranging from 0.58 to 0.99 [12-13, 16, 21-22, 24, 29, 32, 34]. Similarly, the MSE values also correlate with the literature values in the range of 0.001-0.121 [12-13, 17, 19, 24, 29-31, 33].

To interpret the effect of different characteristics of the well on the nitrate concentration, the raw data (Table 2) is utilized to prepare the correlation (Fig 5) and the correlation matrix (Table 3).

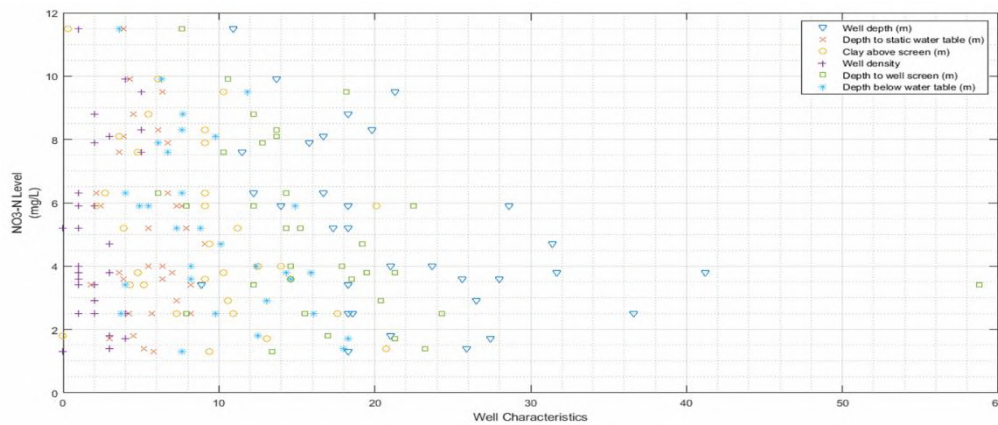


Fig 5. The correlation between well characteristics and NO3-N concentration

The correlation graph and correlation matrix are prepared using the MATLAB® and MS Office Excel software, respectively.

Considering Fig 5 and Table 3, it can be concluded that the most important characteristics of the wells to estimate nitrate

pollution are the well depth, depth below water table, clay above screen, and depth to well screen respectively. Moreover, all these characteristics are inversely related to nitrate concentration of the well.

Table 3. The correlation matrix

	Well Depth (m)	Depth to Static Water Table (m)	Clay Above Screen (m)	Well Density	Depth to Well Screen (m)	Depth below Water Table (m)	NO3-N (mg/L)
Well Depth (m)	1						
Depth to Static Water Table (m)	0.4805	1					
Clay Above Screen (m)	0.5931	0.4847	1				
Well Density	0.0358	-0.0865	-0.0567	1			
Depth to Well Screen (m)	0.1735	-0.0771	0.2409	-0.1175	1		
Depth below Water Table (m)	0.7826	0.1511	0.6242	0.1020	0.2806	1	
NO3-N (mg/L)	-0.4598	-0.1077	-0.3749	0.2556	-0.3531	-0.4384	1

## 4. Conclusions and Recommendations

The results of two different ANN models are promising for the estimation of nitrate concentration levels of wells if the hydrogeological parameters of the well are specified. Considering regression results of ANN models, it can be concluded that GRNN ( $R=0.99$ ) algorithm works slightly better than BPNN ( $R=0.98$ ) algorithm with this dataset. Correlation results represent that the most important characteristics of the wells to estimate nitrate pollution are the well depth, depth below water table, clay above screen, and depth to well screen, respectively. Moreover, all these characteristics are inversely related to nitrate concentration of the well.

In conclusion, this study offers the nitrate concentration estimation based on hydrogeological parameters rather than water quality analysis parameters in contribution to the literature and confirms the applicability of ANN approaches in this area with different types of well parameters. Although a small dataset is used as a demonstration in this preliminary study, these ANN approaches can be applied to large datasets as well. The results can be improved after refining the input parameters using correlation as pre-modeling technique in addition to the normalization of the data.

## 5. Acknowledge

The author did not receive support from any organization for the submitted work and have no conflicts of interest to declare that are relevant to the content of this article.

## References

- [1]. WWAP (World Water Assessment Programme), (2009). Water in a Changing World. World Water Development Report 3, Paris/London, UNESCO Publishing/Earthscan.
- [2]. Nas, B., & Berktaş, A. (2006). Groundwater contamination by nitrates in the city of Konya, (Turkey): A GIS perspective. *Journal of Environmental Management*, 79, 30–37.
- [3]. Zhou, Z. (2015). A Global Assessment of Nitrate Contamination in Groundwater. Internship Report, Supervisor: N. Ansems and P. Torfs.
- [4]. WHO, (2011). Background Document for Development of Guidelines for Drinking Water Quality, Nitrate and nitrite in drinking-water. WHO/SDE/WSH/07.01/16/Rev/1.
- [5]. Motevalli, A., Naghibi, S.A., Hashemi, H., Berndtsson, R., Pradhan, B., & Gholami, V. (2019). Inverse method using boosted regression tree and k-nearest neighbor to quantify effects of point and non-point source nitrate pollution in groundwater. *Journal of Cleaner Production*, 228, 1248-1263.
- [6]. Kaddour, K., El Hacem, B., Hlima, D., & Yasmina, D. (2018). Groundwater vulnerability assessment using GOD method in Boulimat coastal District of Bejaia area North east Algeria. *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences*, 13(3), 109-116.
- [7]. Pociene, A., & Pocius, S. (2005). Relationship between nitrate amount in groundwater and natural factors. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 13(1), 23-30.
- [8]. Brown Jr., E.G., Rodriguez, M., & Ingenito, M. B. (2014). Well Design and Construction for Monitoring Groundwater at Contaminated Sites. Department of Toxic Substances Control, California Environmental Protection Agency, Final.
- [9]. Khalil, A., Almasri, M.N., McKee, M., & Kaluarachchi, J. (2005). Applicability of statistical learning algorithms in groundwater quality modeling. *Water Resources Research*, 41 (W05010), 1-16.
- [10]. Arslan, M. & Terzioğlu, H. (2020). Estimation of Solar Radiation Value using Artificial Intelligence Networks. *European Journal of Science and Technology*, (Special Issue), 488-497.
- [11]. Suen, J.-P., & Eheart, J.W. (2003). Evaluation of neural networks for modeling nitrate concentrations in rivers. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 129, 505–510.
- [12]. Yesilnacar, M.I., Sahinkaya, E., Naz, M., & Ozkaya, B. (2008). Neural network prediction of nitrate in groundwater of Harran Plain, Turkey. *Environmental Geology*, 56, 19–25.
- [13]. Benzer, R., & Benzer, S. (2018). Forecasting the Nitrate Pollution of Groundwater and Surface Waters: Kütahya Example. *Karalimas Science and Engineering Journal*, 8(1), 279-287. (in Turkish)
- [14]. Wagh, V., Panaskar, D., Muley, A., Mukate, S., & Gaikwad, S. (2018). Neural network modelling for nitrate concentration in groundwater of Kadava River basin, Nashik, Maharashtra, India. *Groundwater for Sustainable Development*, 7, 436–445.
- [15]. Huang, J., Xu, J., Liu, X., Liu, J., & Wang, L. (2011). Spatial distribution pattern analysis of groundwater nitrate nitrogen pollution in Shandong intensive farming regions of China using neural network method. *Mathematical and Computer Modelling*, 54, 995-1004.
- [16]. Ehteshami, M., Farahani, N. D., & Tavassoli, S. (2016). Simulation of nitrate contamination in groundwater using artificial neural networks. *Modeling Earth Systems and Environment*, 2(28), 1-10.
- [17]. Nolan, B.T., Fienen, M.N., & Lorenz, D.L. (2015). A statistical learning framework for groundwater nitrate models of the Central Valley, California, USA. *Journal of Hydrology*, 531, 902-911.
- [18]. Darwishe, H., El Khattabi, J., Chaaban, F., Louche, B., Masson, E., & Carlier, E. (2017). Prediction and control of nitrate concentrations in groundwater by implementing a model based on GIS and artificial neural networks (ANN). *Environmental Earth Sciences*, 76(649), 1-14.
- [19]. Ouedraogo, I., Defourny, P., & Vanclooster, M. (2019). Application of random forest regression and comparison of its performance to multiple linear regression in modeling groundwater nitrate concentration at the African continent scale. *Hydrogeology Journal*, 27, 1081–1098.
- [20]. Band, S.S., Janizadeh, S., Pal, S.C., Chowdhuri, I., Siabi, Z., Norouzi, A., Melesse, A.M., Shokri, M., & Mosavi, A. (2020). Comparative Analysis of Artificial Intelligence Models for Accurate Estimation of Groundwater Nitrate Concentration. *Sensors*, 20(5763), 1-23.
- [21]. Zaqoot, H. A., Hamada, M., & Miqdad, S. (2018). A Comparative Study of Ann For Predicting Nitrate Concentration In Groundwater Wells In The Southern Area Of Gaza Strip. *Applied Artificial Intelligence*, 32(7-8), 727-744.
- [22]. Alagha, J.S., Said, M.A.M., & Mogheir, Y. (2014). Modeling of nitrate concentration in groundwater using artificial intelligence approach - a case study of Gaza coastal aquifer. *Environmental Monitoring and Assessment*, 186, 35-45.



- [23]. Al-Mahallawi, K., Mania, J., Hani, A., & Shahrour, I. (2012). Using of neural networks for the prediction of nitrate groundwater contamination in rural and agricultural areas. *Environmental Earth Sciences*, 65, 917-928.
- [24]. Arabgol, R., Sartaj, M., & Ashgari, K. (2016). Predicting nitrate concentration and its spatial distribution in groundwater resources using support vector machines (SVMs) Model. *Environmental Modeling and Assessment*, 21, 71-82.
- [25]. Ye, Z., Yang, J., Zhong, N., Tu, X., Jia, J., & Wang, J. (2020). Tackling environmental challenges in pollution controls using artificial intelligence: A review. *Science of the Total Environment*, 699(134279), 1-28.
- [26]. Townsend, M. A., & Young, D.P. (1995). Factors Affecting Nitrate Concentrations in Ground Water in Stafford County, Kansas. 238, 1-9.
- [27]. Jain, Y.K., & Bhandre, S.K. (2011). Min Max Normalization Based Data Perturbation Method for Privacy Protection. *International Journal of Communication and Computer Technologies*, 2(8), 45-50.
- [28]. Wagh, V.M., Panaskar, D.B., & Muley, A.A. (2017). Estimation of nitrate concentration in groundwater of Kadava river basin-Nashik district, Maharashtra, India by using artificial neural network model. *Modeling Earth Systems and Environment*, 3(36), 1-10.
- [29]. Ostad-Ali-Askari, K., Shayannejad, M., & Ghorbanizadeh-Kharazi, H. (2017). Artificial Neural Network for Modeling Nitrate Pollution of Groundwater in Marginal Area of Zayandeh-rood River, Isfahan, Iran. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 21(1), 134-140.
- [30]. Foddis, M.L., Montisci, A., Trabelsi, F., & Uras, G. (2019). An MLP-ANN-based approach for assessing nitrate contamination. *Water Supply*, 19.7, 1911-1917.
- [31]. Mousavi, S.F., & Amiri, M.J. (2012). Modelling Nitrate Concentration of Groundwater Using Adaptive Neural-Based Fuzzy Inference System. *Soil & Water Res.*, 7, 2012 (2), 73–83.
- [32]. Almasri, M.N., & Kaluarachchi, J.J. (2005). Modular neural networks to predict the nitrate distribution in ground water using the on-ground nitrogen loading and recharge data. *Environmental Modelling & Software*, 20, 851-871.
- [33]. Kumar, P., Lai, S.H., Mohd, N.S., Kamal, M.R., Afan, H.A., Ahmed, A.N., Sherif, M., Sefelnasr, A., & El-shafie, A. (2020). Optimised neural network model for river- nitrogen prediction utilizing a new training approach. *PLoS ONE* 15(9): e0239509.
- [34]. Zare, A.H., Bayat, V.M., & Daneshkare, A.P. (2011). Forecasting nitrate concentration in groundwater using artificial neural network and linear regression models. *International Agrophysics*, 25, 187-192.



# Duygu Analizi İçin Veri Madenciliği Sınıflandırma Algoritmalarının Karşılaştırılması

Esra Çelik<sup>1\*</sup>, Deniz Dal<sup>2</sup>, Tolga Aydın<sup>3</sup>

<sup>1\*</sup> Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Erzurum, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-5333-6622), [esra.celik@atauni.edu.tr](mailto:esra.celik@atauni.edu.tr)

<sup>2</sup> Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Erzurum, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-0120-4315), [ddal@atauni.edu.tr](mailto:ddal@atauni.edu.tr)

<sup>3</sup> Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Erzurum, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-8971-3255), [atolga@atauni.edu.tr](mailto:atolga@atauni.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 29 Mart 2021 ve Kabul Tarihi 21 Kasım 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.905259)

**ATIF/REFERENCE:** Çelik, E., Dal, D., & Aydın, T. (2021). Duygu Analizi İçin Veri Madenciliği Sınıflandırma Algoritmalarının Karşılaştırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (27), 880-889.

## Öz

Teknolojinin gelişmesi, internetin yaygınlaşması ve internet aracılığıyla bilgiye erişim kolaylığı insanların duygu ve düşüncelerini farklı iletişim araçlarını kullanarak paylaşmalarına imkân sağlamaktadır. Uyarlanabilir öğrenme ve karar verebilme gibi yeteneklerle donatılarak daha akıllı hale gelen söz konusu bu iletişim araçları, her geçen gün daha geniş kitlelere ulaşmaktadır. Bir zamanlar sadece ses iletimi için kullanılan bu araçlar şimdilerde insanların forum ve blog gibi sanal ortamlarda duygu ve düşüncelerini yazılı olarak paylaşmalarını mümkün kılmaktadır. Sanal ortamlar aracılığıyla yapılan bu yorumlar artık bir bilgi edinme kaynağı olarak görülmekte ve daha da önemlisi bu yorumlar bireylerin farklı konulara ilişkin düşüncelerinin analiz edilebilmelerini kolaylaştırdıkları için konu üzerinde çalışmalar yürüten araştırmacıların dikkatini fazlasıyla çekmektedir. Başka bir deyişle bu yorumlardan günümüzün popüler bir araştırma alanı olan duygu analizi için gerçek bir veri seti olarak faydalanılmaktadır. Bu çalışmada ürün, film ve restoran yorumlarını içeren farklı veri setlerinden faydalanılarak veri madenciliği sınıflandırma algoritmaları yardımıyla duygu analizi yapılmıştır. Bu amaçla Destek Vektör Makinesi, K-En Yakın Komşu, Naive Bayes, Karar Ağacı ve Rastgele Orman sınıflandırma algoritmalarından faydalanılmıştır. Veri boyutunu ve çeşitliliğini arttırmak amacıyla her biri içerisinde 500 olumlu, 500 olumsuz olmak üzere toplamda 1000 adet yorum içeren üç farklı veri seti birleştirilmiştir. Deneysel sonuçlar Destek Vektör Makinesi sınıflandırma algoritmasının duygu analizi noktasında diğer yöntemlere kıyasla daha başarılı olduğunu göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Duygu analizi, Veri madenciliği, Metin madenciliği, Makine öğrenmesi, K-en yakın komşu, Naive bayes, Destek vektör makinesi, Karar ağacı, Rastgele orman.

## Comparison of Data Mining Classification Algorithms for Sentiment Analysis

### Abstract

The development of technology, the spread of the Internet and the ease of access to the information through the Internet enable people to share their feelings and thoughts using different communication channels. These communication mediums, that have become smarter by being equipped with the skills such as the adaptive learning and decision making, are reaching a wider audience day by day. While these channels were once used only for the voice transmission, it nowadays enables people to share their feelings and thoughts in the virtual environments such as forums and blogs. The comments made through the virtual environments are now seen as a source of information, and more importantly, these comments attract the attention of researchers who are working on the subject, as they facilitate the analysis of individuals' opinions on different topics. In other words, these comments are used as a real data set for the sentiment analysis, that is one of the popular research areas. In this study, the sentiment analysis was carried out by means of the data mining classification algorithms applied on different data sets including the product, movie and restaurant reviews. For this purpose, Support Vector Machine, K-Nearest Neighbor, Naive Bayes, Decision Tree and Random Forest classification algorithms were taken into consideration. In order to increase the data size and its diversity, three different data sets, each containing 500 positive and 500 negative, 1000 comments in total, were combined. Experimental results showed that the Support Vector Machine classification algorithm is more successful than other methods in the sentiment analysis.

**Keywords:** Sentiment analysis, Data mining, Text mining, Machine learning, K-nearest neighbor, Naive bayes, Support vector machine, Decision tree, Random forest.

\* Sorumlu Yazar: [esra.celik@atauni.edu.tr](mailto:esra.celik@atauni.edu.tr)

## 1. Giriş

Mobil cihaz teknolojilerinin gelişmesi, internetin yaygınlaşması ve internet aracılığıyla bilgiye erişim kolaylığı insanların duygu ve düşüncelerini farklı iletişim araçlarını kullanarak sesli, görüntülü ve yazılı formda paylaşabilmelerine imkân sağlamaktadır. Söz konusu her bir formun farklı platformlarda öne çıktığı, örneğin forum ve blog gibi sanal ortamlardaki paylaşım şeklinin genellikle yazılı olduğu bilinmektedir. Bu türden ortamlar aracılığıyla yapılan özellikle ürün, restoran ve film yorumları toplumdaki bireylerin fazlasıyla dikkatini çekmektedir çünkü bu yorumlar ürün incelemelerinde tüketicilerin ürünlerden, restoran incelemelerinde müşterilerin yemeklerden ve benzer şekilde film incelemelerinde de izleyicilerin izledikleri filmlerden memnun olup olmadıklarını ortaya çıkarmaktadır. Bu yorumlar diğer kullanıcıların tercihlerini etkileyebilen bir veri kaynağı olabilmelerinin yanında duygu analizi gibi araştırma alanlarında kullanılacak gerçek bir veri setini de oluşturmaktadır. Bu veri setlerinde yer alan yorumları analiz etme ihtiyacı ise her geçen gün artmaktadır. Söz konusu verinin hacmi göz önüne alındığında, bu analizin insan gücüyle ve manuel olarak yapılmasının pratik olmayacağı açıktır. Bu durum yorumların analizini hızlı bir şekilde gerçekleştirecek otomatik uygulamalara duyulan ihtiyacı ortaya koymaktadır. Bu nedendir ki son yıllarda çeşitli makine öğrenmesi, yapay öğrenme ve veri madenciliği alanındaki algoritmalarından bu verileri kullanarak gizli örüntüleri çıkarma, analiz ve tahmin yapabilme gibi amaçlar için faydalanılmaktadır (Albayrak ve ark., 2017).

Yapay zekâ alanındaki gelişmeler doğal dil işleme ile geliştirilen uygulamaların da gün geçtikçe artmasına neden olmaktadır. Doğal dil işleme, eldeki mevcut verilerden bilgisayarların anlayabileceği anlamların çıkarılması işlemidir. Doğal dil işleme ile geliştirilen uygulamalar, manuel gerçekleştirilmesi zor olan analizler için bilgisayarlardan faydalanarak hızlı ve doğru sonuç alınmasına imkân vermektedir. Duygu analizi bu uygulamalardan biridir.

Duygu analizi özünde bir metin işleme sürecidir ve bir metnin duygusal olarak ifade etmek istediği sınıfı belirlemeyi amaçlamaktadır (Seker, 2016). Başka bir deyişle bir bilimsel çıkarım tekniği olan duygu analizi, çok miktarda metinsel içerikten oluşan veri kümelerinde ifade edilmek istenen duygunun ortaya çıkarılmasını sağlayan bir metin madenciliği çalışmasıdır. Öte yandan metin madenciliği metni bir veri kaynağı olarak kabul eden ve metin üzerinden yapılandırılmış veri elde etmeyi amaçlayan bir veri madenciliği çalışması olarak tanımlanmaktadır (Kılınç ve ark., 2016) Duygu analizi alanında farklı teknikleri içeren çalışmalara literatürde sıkça rastlanmaktadır. Bu çalışmaların birçoğu duygu analizi için veri madenciliği, sınıflandırma ve makine öğrenmesi tekniklerinin etkisini incelemiştir (Albayrak ve ark., 2017) (Topaçan, 2016) (Nalçakan ve ark., 2015) (Kaynar ve ark., 2016) (Pang ve ark., 2002) (Zhang ve ark., 2014) (Khan ve ark., 2016). Duygu analizinin ilk uygulamaları metinlerin duygusal olarak olumlu veya olumsuz şeklinde iki gruba ayrılmaya çalışıldığı duygusal kutupsallık üzerine olmuştur (Seker, 2016). Bu amaçla sosyal medyada tartışılan sosyal bir konunun verilerine ait duygu analizleri yapılmıştır ve sosyal medya aracılığıyla üretilen metinlerin istatistiksel yöntemler kullanılarak analiz edilmesi sağlanmıştır (Albayrak ve ark., 2017). Bu kapsamda metin yazarlarının bir konuya karşı düşüncesinin olumlu, olumsuz ya

da tarafsız sınıflandırılmasıyla ağı oluşturan topluluğun genel eğiliminin tahmin edilmesi de sağlanmıştır (Topaçan, 2016). Bir başka çalışmada bir sınıf dışı eğitim faaliyeti olan bir projenin, öğrencilerin tutumlarına ve duygularına etkisini belirlemek amacıyla duygu analizi gerçekleştirilmiştir (Demir ve Yılmaz, 2018). Nalçakan ve ark., (2015) referanslı çalışmada Twitter üzerinden Samsung, Apple ve LG markaları için yapılan yorumlar için bir makine öğrenmesi algoritmasıyla iyi, kötü ve duygu belirtmeyen şeklinde bir geribildirim elde edilmiştir. Nitelik seçim yöntemlerinin Türkçe Twitter verileri üzerindeki duygu analizi işleminin performansına etkisi Parlar ve ark., (2017) referanslı çalışma kapsamında değerlendirilmiştir. Burcu ve Şimşek (2018) referansıyla verilen çalışma ile bir televizyon kanalına ait seyirci görüşlerinin sosyal medya üzerinden derlenip kanal için faydalı bilgi elde edilmesi ve işletmeye değer katması amacıyla bir karar destek unsuru oluşturulmuştur. Bir diğer çalışmada film yorumlarının içeriğine göre farklı sınıflandırma algoritmaları kullanılarak duygu ve düşünce analizi yapılmıştır (Kaynar ve ark., 2016). Makine öğrenmesi ile duygu analizi ilk defa 2002 yılında sinema filmlerinin yorumlarını pozitif ve negatif olarak sınıflandırmak amacıyla kullanılmıştır (Pang ve ark., 2002). Sadece pozitif/negatif şeklindeki bir ikili sınıflandırma yerine sınırlı, mutlu, mutsuz ve suçluluk hissi gibi birden fazla sınıfa göre duygu sınıflandırması Balahur ve ark., (2012) referanslı çalışmaya konu olmuştur. Zhang ve ark., (2014) referanslı çalışmada dolaylı anlatımla ifade edilen duyguların tespit edilebilmesi için AppleStore'daki mobil uygulama yorumları üzerinde denetimli makine öğrenmesi yöntemleri ve bu yöntemlerin farklı parametrelere göre performansları karşılaştırılmıştır. Sinema yorumları, ürün yorumları gibi farklı veri setleri üzerinde denetimli makine öğrenmesi yöntemi ve destek vektör makinesi sınıflandırıcısı ile gerçekleştirilen bir duygu analizi Khan et al. (2016) referanslı çalışma kapsamında yürütülmüştür. Literatürdeki çalışmalardan anlaşılacağı üzere duygu analizinde genellikle bir veri kümesi içerisindeki ifadelerin sınıflandırılarak olumlu veya olumsuz olup olmadığı sorgulanmaktadır. Bu sorgulama insanların seçimlerini ve herhangi bir konu hakkındaki karar verme sürecini kolaylaştırmaktadır. Öte yandan bu aşamada çok sayıda yorum içeren veri setlerinin analizinin manuel bir şekilde gerçekleştirilmesi zorluğu karşımıza çıkmaktadır. Bu nedendir ki duygu analizinin otomatik bir şekilde ve hızlı olarak yapılabilmesi veri madenciliği ve makine öğrenmesi alanları için önemli bir çalışma konusu olmuştur.

Bu çalışmada duygu içeren metinlerle oluşturulmuş büyük veri kümelerinin doğru bir şekilde analiz edilmesi için veri madenciliği ile sınıflandırma yapılmıştır. Bu amaçla *K-En Yakın Komşu (KNN)*, *Naive Bayes (NB)*, *Destek Vektör Makinesi (DVM)*, *Karar Ağacı (KA)* ve *Rastgele Orman (RO)* makine öğrenmesi algoritmalarından faydalanılmıştır ve bu algoritmalar Python programlama dili ve *scikit-learn* kütüphanesi ile gerçekleştirilmiştir. Söz konusu algoritmaların etkinliği literatürde yaygın olarak kullanılan *Amazon*, *Imdb* ve *Yelp* Anonim, (2020) isimli üç ünlü veri seti ve bu veri setleri birleştirilerek elde edilen dördüncü bir yeni veri seti ile test edilmiştir. Deneysel sonuçlar Destek Vektör Makinesi sınıflandırma algoritmasının duygu analizi noktasında diğer yöntemlere kıyasla daha başarılı olduğunu göstermiştir.

3. Bölüm'de daha detaylı olarak bahsedileceği üzere birleştirme sonrası veri kapasitesi ve veri çeşitliliği artan yeni veri seti sayesinde ilgili makine öğrenmesi algoritmalarının doğruluk ve hassaslık gibi başarımlar ölçütlerinde önemli derecede

bir iyileşme gözlenmiştir. Söz konusu bu yeni veri setinin performans üzerine etkisinin incelenmesi çalışmamızı literatürdeki benzer çalışmalardan farklı kılan noktalardan birisidir. Bir diğeri ise çalışma kapsamında değerlendirmeye alınan sınıflandırma algoritmalarının çeşitliliğidir.

Bu çalışmanın geri kalan bölümü şu şekilde organize edilmiştir. 2. Bölüm’de materyal ve yöntem yer verilmiştir. 3. Bölüm’de deney sonuçları detaylı grafikler ve tablolar eşliğinde analiz edilmiştir. Son olarak 4. Bölüm ile çalışma sonuçlandırılmıştır.

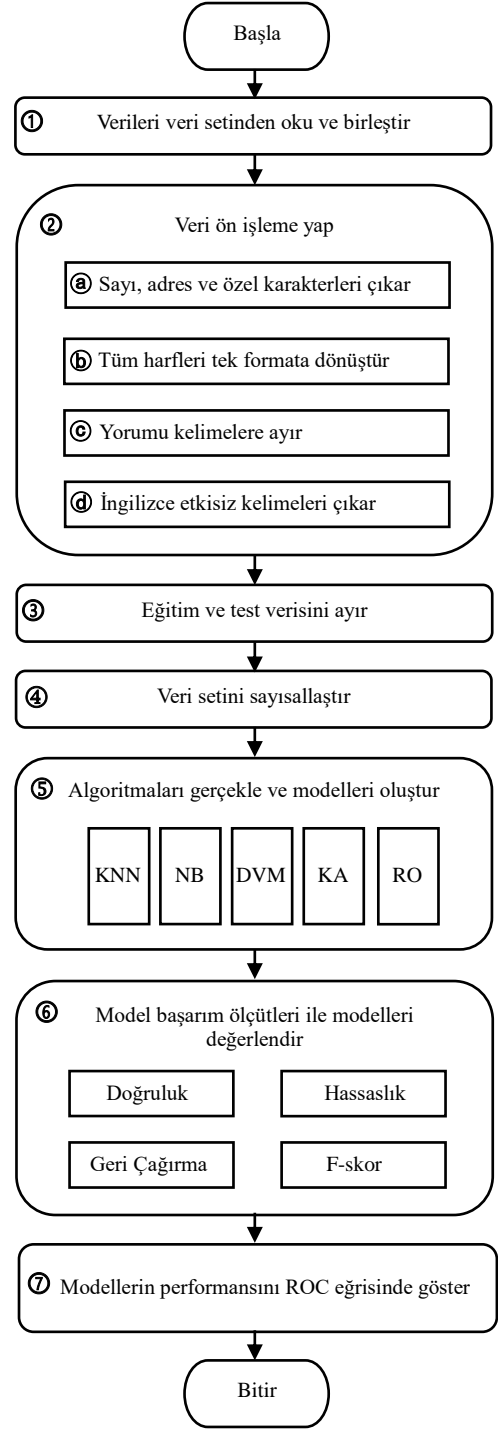
## 2. Materyal ve Metot

Veri madenciliği sınıflandırma algoritmalarının duygu analizi açısından karşılaştırılmasına yönelik hazırlanan bu çalışmaya ait tasarım akışı diyagramı Şekil 1 ile verilmiştir. Bu diyagramda yer alan her bir adım ise takip eden alt bölümlerde detaylandırılmıştır.

### 2.1. Veri Seti

Bu çalışma kapsamında literatürde yaygın olarak kullanılan Amazon, Imdb ve Yelp isimli web sitelerinden elde edilen üç farklı veri seti kullanılmıştır. Her bir veri seti içerisinde 500 olumlu ve 500 olumsuz olmak üzere toplam 1000 yorum ve her bir yoruma ait birer etiket bulunmaktadır. Etiket adı verilen bileşen ilgili yorumun olumlu veya olumsuz olduğunu ifade eden sayısal bir değerdir. Veri setlerinde olumlu yorum 1 ve olumsuz yorum ise 0 etiketi ile işaretlenmiştir. Amazon isimli veri seti içerisinde amazon.com’da cep telefonları ve aksesuarları kategorisinde satılan ürünler için yapılan yorumlar ve etiketler mevcuttur. Imdb isimli veri seti içerisinde imdb.com’da yayınlanan filmlere ait yorumlara ve etiketlere, Yelp isimli veri setinde ise yelp.com’daki restoran incelemelerini içeren yorumlara ve etiketlere yer verilmiştir (Kotzias ve ark., 2015). Veri setlerindeki yorumlar sınıflandırma yaklaşımlarını değerlendirmek için kullanılmaktadır.

Bilimsel araştırmalarda kullanılan modellerin değerlendirilmesi noktasında veri setlerinin büyüklüğü ve çeşitliliği oldukça önemlidir (Onan ve Korukoğlu, 2016). Bu nedenle bu çalışmada çeşitliliği sağlamak ve veri setini büyütmek amacıyla tasarım akışının ① numaralı adımında yukarıda bahsedilen üç farklı veri seti birleştirilmiştir. Böylelikle toplamda 3000 yorumu ve bu yorumlara ait 3000 etiketi içeren tek bir veri seti ile modellerin doğruluğu değerlendirilmiştir. Bu aşamada veri çeşitliliğini sağlamak amacıyla eğitim ve test kümeleri rastgele oluşturulmuştur. Başka bir deyişle algoritmanın eğitildiği küme içerisinde hem ürün hem film ve hem de restoran yorumları mevcuttur. Benzer bir durum test kümesi için de geçerlidir.



Okuyucuya bir fikir vermesi açısından bu çalışmada kullanılan veri setlerinin her birinden alınan olumlu ve olumsuz yorum örnekleri ve bunların etiketleriyle Tablo 1 hazırlanmıştır. Yorumlar İngilizce olduğu için parantez içerisinde bu yorumların Türkçe karşılıklarına da Tablo 1’de yer verilmiştir.

Tablo 1. Örnek yorumlar

Veri Seti	Yorum	Etiket
Amazon	It has all the features I want (İstediğim tüm özelliklere sahip)	1
	Returned 8 hours later. (8 saat sonra geri dönüş yapıldı.)	0
Imdb	Excellent short film. (Mükemmel kısa film.)	1
	It was so BORING! (O çok sıkıcıydı!)	0
Yelp	Great food and awesome service! (İyi yemek ve müthiş hizmet!)	1
	Service sucks. (Servis berbattı.)	0

## 2.2. Veri Ön İşleme

Dil bilgisi kuralları her dil için farklı olduğundan doğal dil işleme süreçleri de dilden dile değişiklik göstermektedir. Doğal dil işleme sürecinde bilgisayar kelimenin kökünü ayır, kelimelerin dizilimini ayır, cümlenin ve tüm metnin anlamını ayır ayır inceleyerek anlatılmak istenileni öğrenmekte ve bir anlam çıkarmaktadır. Örneğin, İngilizce metinlerin doğal dil işleme süreci Türkçe'den farklıdır. İngilizce, Türkçe gibi sondan eklemeli bir dil değildir, bu nedenle kelime kökünün yapısal incelemesi basittir. Bilgisayar İngilizce kelimelerin diziliminde özne, yüklem ve nesne sıralamasını dikkate almaktadır (bkz. Tablo 1). Öte yandan bilgisayarın cümlede anlatılardan bir anlam çıkarması için cümlenin daha küçük anlamlı birimlere ayrılması gerekmektedir. Bu durum doğal dil işlemede veri ön işleme olarak nitelendirilmektedir.

Bilimsel araştırmalar için toplanan verilerin genellikle herhangi bir ön işlemlemeden geçirilmeden, başka bir ifadeyle yapılandırılmadan veri setlerine dahil edildiği bilinmektedir (Uçkan ve ark., 2019). Oysa ki veri setindeki verilerin kalitesi ile o verileri kullanan algoritmalarla elde edilen sonuçların doğruluğu arasında bir korelasyon bulunmaktadır. Daha da önemlisi bu şekilde hiçbir işlemlemeden geçmemiş veriler sadece sonuçları değil analiz sürecini de olumsuz etkilemektedir. Bu nedenle tasarımın ② numaralı adımında her bir veri seti önce gereksiz içeriklerden arındırma ve yazım hatalarının düzeltilmesi gibi bir takım veri ön işleme sürecinden geçirilmiştir. Bu amaçla ③ ile ifade edilen alt adımda veri setlerindeki her bir yorumun içeriği kontrol edilerek e-mail adresleri, sayılar, IP adresleri ve özel karakterler *replace* fonksiyonu kullanılarak yorumdan çıkarılmıştır. Daha sonra verileri uygun bir formata dönüştürmek amacıyla ④ ile ifade edilen adımda *lower* fonksiyonu yardımıyla tüm harfler küçük harfe çevrilmiştir. Öte yandan yorumları anlamlı birimlere, başka bir ifadeyle kelimelere ayırmak için ⑤ adımında Python'a ait *nltk.tokenize* kütüphanesinde yer alan *word\_tokenize* metodundan faydalanılmıştır. Yorumların tamamı İngilizcedir ve yorumlardan elde edilen kelimelerin bir kısmı etkisiz kelimelerdir (stop words). Bu kelimelerin analize bir katkısı olmadığı için ⑥ ile belirtilen adımda Python'a ait *nltk.corpus* kütüphanesinde yer alan *stopwords* metodundan faydalanılarak etkisiz kelimeler yorumlardan arındırılmış ve tüm bu ön işlemler sonucunda veriler uygun formata dönüştürülmüştür. Örneğin, Amazon isimli veri setinden alınan "\$50 Down the drain." yorumu için ön işleme şu şekilde gerçekleştirilmiştir. İlk olarak yorum sayılardan ve özel karakterlerden arındırılmış, daha sonra "down the drain" şeklinde tamamen küçük harflerle temsil edilmiş ve son olarak etkisiz kelimeler ayrıştırılarak "drain" şeklini almıştır.

## 2.3. Veri Setini Bölme

Bu çalışma kapsamında dikkate alınan sınıflandırma algoritmalarının tamamında her bir veri setini etkin bir şekilde analiz edebilmek amacıyla tasarımın ③ numaralı adımında verinin %75'lik rastgele kısmı eğitim, %25'lik rastgele kısmı ise modelin testi için ayrılmıştır. Duygu analizi için kullanılan algoritmaların tamamında model oluşturulurken veri setinin eğitim için ayrılan %75'lik kısmından yararlanılmıştır. Model oluşturma işleminden sonra %25'lik test verisi kullanılarak ilgili model üzerinde tahminleme yapılmış ve modelin performansı değerlendirilmiştir.

## 2.4. Veri Setini Sayısallaştırma

Değerlendirmeye alınan algoritmaların tamamında matematiksel hesaplamaların yapılabilmesi için ön işleme sürecinden geçirilerek temizlenen verilerin ④ numaralı tasarım adımında sayısal değerlere dönüştürülmesi ve her yorumun bir vektörle temsil edilmesi gerekmektedir. Bu amaçla bir doğal dil işleme süreci devreye girmekte ve Terim Frekansı-Ters Metin Frekansı (TF-IDF) yönteminden faydalanılmaktadır. TF-IDF yorumlardaki kelimelerin ön işlemeden geçirilmiş veri setindeki önem derecesini belirleyen bir yöntemdir. Bu yöntem algoritmalara girdi olarak verilmek üzere kelimelerin miktarını dikkate alarak ilgili kelimelerin sayısal ağırlığını hesaplamaktadır (Güran ve Kınık, 2021). Bu çalışmada TF-IDF'yi kullanmak için Python'a ait *sklearn.feature\_extraction.text* kütüphanesinde tanımlı *TfidfVectorizer* metodundan faydalanılmış ve bu sayede makine öğrenmesi algoritmalarının önem dereceleri belli olan kelimeleri sayısal olarak kullanabilmeleri sağlanmıştır.

TF-IDF'nin çalışma mantığı Amazon isimli veri setinden alınan ve üzerlerinde ön işleme yapılmış "good product good seller" ve "great sound service" yorumları kullanılarak Tablo 2'de örneklendirilmiştir. Bu işlem için ① numaralı adımda her bir kelimeye ait TF değerlerini hesaplamak amacıyla yorumlardaki kelime sayılarını içeren vektör temsilleri oluşturulmuştur (örneğin *good* kelimesi iki kez kullanıldığı için vektör temsili değeri 2'dir). ② numaralı adımda her bir yorumdaki toplam kelime sayısı belirlenmiştir. ③ numaralı adımda vektör temsiliindeki her bir değer ilgili yorumdaki toplam kelime sayısına bölünmüş ve normleştirilmiş TF değerleri elde edilmiştir (örneğin *good* kelimesinin normleştirilmiş TF değeri  $2/4 = 0.5$ 'dir). IDF değerini hesaplamak için ④ numaralı adımda, kullanılan toplam yorum sayısı her bir kelimenin geçtiği yorum sayısına bölünerek logaritması alınmıştır (örneğin *good* kelimesinin IDF değeri  $\log(2/1) = 0.3$ 'tür). Son olarak ⑤ numaralı adımda kelimelerin ağırlıklarını hesaplamak için her bir kelimeye ait TF ve IDF değerleri çarpılmıştır (örneğin *good* kelimesinin ağırlığı  $0.5 * 0.3 = 0.15$ 'dir).

Tablo 2. TF-IDF hesaplama

TF-IDF hesaplama adımı	Yorum	
	<i>good product good seller</i>	<i>great sound service</i>
①	[2 1 1]	[1 1 1]
②	4	3
③	[0.5 0.25 0.25]	[0.3 0.3 0.3]
④	[0.3 0.3 0.3]	[0.3 0.3 0.3]
⑤	[0.15 0.07 0.07]	[0.09 0.09 0.09]

## 2.5. Veri Madenciliği ve Sınıflandırma

Yapay zekâ teknolojisi son yıllarda hızlı bir gelişme göstermiştir. Yapay zekânın uyarlanabilir öğrenme ve karar verme yetenekleri sayesinde daha akıllı hale gelen dijital cihazların sayısında görülen artış da dikkat çekmektedir. Bu tür cihazların sayısındaki artış ve bu cihazlar ile yapılan işlemlerin dijital ortamda kayıt altına alınması neticesinde artık büyük veri olarak adlandırılan bir veri ortaya çıkmıştır. Önceleri görülen veri kıtlığı, yerini aşırı bolluğa bırakmış ve bilgiye erişim endişesinin yerini artık erişilebilen miktarla başa çıkma endişesi almıştır (Şentürk, 2006). Biriken bu büyük veri, insanları bu verilerden faydalı bilgiler çıkarmaya yöneltmiş, böylece bu verinin değersiz kalmasının önüne geçilmiştir. Bir zamanlar herhangi bir anlam ifade etmeyen verileri, farklı tekniklerle işleyerek ve analiz ederek anlaşılabilir kılan işlemlerin bütününe veri madenciliği denilmektedir.

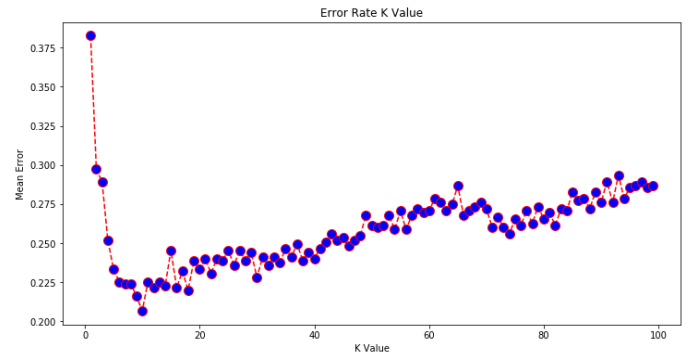
Veri madenciliği, karar verilmesi gereken durumlarda kümeleme ve birliktelik kuralı gibi yöntemleri kullanırken, tahmin etmeye dayalı durumlarda sınıflandırma ve veri kümesindeki değişkenler arasındaki ilişkileri inceleyen regresyon üzerine yoğunlaşmaktadır. Bu çalışmada bir keşif ve öngörü metodu ve aynı zamanda veri madenciliğinin en popüler yöntemlerinden birisi olan sınıflandırmadan faydalanılmıştır. Sınıflandırma, önceden belirlenmiş sınıfları kullanarak sonuçları bilinmeyen verilere ait sınıfların tahmin edilmesini sağlamaktadır. Bu amaçla başlangıçta üzerinde çalışılacak veri seti belirlenen bir yüzdeliğe göre eğitim ve test verisi olarak iki gruba ayrılmaktadır. Daha sonra bu veri setinin eğitim için ayrılan parçası kullanılarak sınıflandırma kuralının oluşturulması sağlanmaktadır. Son aşamaya gelindiğinde ise hazırlanan sınıflandırma kurallarıyla sonuçları bilinmeyen verilere ait sınıfların tahmin edilmesi gerçekleştirilmektedir. Öte yandan sınıflandırma kuralının oluşturulması aşamasında bir veri madenciliği yöntemi olan makine öğrenmesi algoritmalarından da faydalanılmaktadır. Veri madenciliği ve makine öğrenmesi alanları birbirleriyle önemli ölçüde örtüşmektedir. Ortak yönleri oldukça fazla olan bu iki alan gerekli durumlarda destek vererek birbirlerini tamamlamaktadır. Bu sayede günümüzde veri madenciliği ve makine öğrenmesi teknikleri farklı sektörler tarafından tercih edilmektedir (Orakcı ve ark., 2019) (Coşkun ve Baykal, 2011).

Makine öğrenmesi tekniklerinin öğrenme sürecinde uygulanmasının en temel adımları model oluşturma ve değerlendirmedir. Model oluşturma adımı, farklı öğrenme modellerinden veri setine en uygun olanları kullanarak öğrenme işlemi gerçekleştirilmektedir. Makine öğrenmesinde kullanılan öğrenme modelleri denetimli ve denetimsiz olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Denetimli öğrenmede girişleri ve çıkışları içeren bir veri kümesi algoritmaya girdi olarak verilmekte, algoritma ise bu girişlere ve çıkışlara nasıl ulaşılacağını belirleyen bir yöntem bulmaktadır. Denetimsiz öğrenmede ise var olan girdilere ait bir çıktı (etiket) bulunmadığından (sınıflar önceden belli olmadığından) algoritma mevcut verileri analiz ederek ilişkileri kendisi belirlemektedir. Bu çalışmada duyu analizini etkili bir şekilde gerçekleştirmek için tasarımın 5 numaralı adımında veri madenciliğinin sınıflandırma için kullanılan K-En Yakın Komşu, Naive Bayes, Destek Vektör Makinesi, Karar Ağacı ve Rastgele Orman denetimli öğrenme algoritmalarından faydalanılmıştır.

## 2.6. K-En Yakın Komşu

K-En Yakın Komşu (KNN) ile sınıflandırma işlemi nesnelerin birbirleri arasındaki yakınlık ilişkilerine göre yapılmaktadır. Geliştirme kolaylığı avantajına sahip KNN algoritmasının yüksek miktarda bellek alanına gereksinim duyması, veri seti ve boyutu arttıkça işlem yükünün ve maliyetin önemli ölçüde yükselmesi, performansın K komşu sayısı gibi parametre ve özelliklere bağlı olarak etkilenmesi gibi birtakım dezavantajlara sahip olduğu da bilinmektedir (Liu ve Zhang, 2012).

KNN ile sınıflandırma işleminde ilk olarak komşu sayısını ifade eden K değerine bakılarak eleman sayısı belirlenmektedir. Algoritma yeni bir veri ile karşılaştığında K'ya olan mesafeleri hesaplamakta, sıralamakta ve en küçük uzaklığa bağlı olarak yeni değeri en yakın komşuların bulunduğu kümeye eklemektedir. Mesafe hesaplama işleminde ise Öklid uzaklığı sıkça tercih edilmektedir (Aydın, 2018). Bu süreçte K değeri 1 olduğu zaman sadece en yakın komşunun bulunduğu sınıfa atama yapılmakta, K değeri örnek sayısına yaklaştığında ise veri setinde yer alan tüm veriler dikkate alınmaktadır. Algoritma bir eğitim verisi içermekte ve her yeni değer için bu süreç tekrar etmektedir. Bu nedenle eğitim kümesinin büyük olması ve K değerinin uygun seçilmesi KNN açısından çok önemlidir. Bu çalışmada da ilk olarak ilgili veri setine en uygun komşuluk değerini (K) bulmak için belirli aralıktaki K değerlerine karşılık gelen hata oranları tespit edilmiştir. Şekil 2'de yer alan 1 ile 100 arasındaki tüm K değerlerine ait test verisinin tahmin edilen değerleri için ortalama hata grafiği hazırlanmıştır. Grafikten de anlaşılacağı üzere ilgili veri seti için ortalama hatanın en az olduğu 10 değeri en uygun komşuluk değeri olarak tespit edilmiştir. Ayrıca mesafe hesaplama işleminde Öklid uzaklığı kullanılmıştır. Son olarak Python'a ait *sklearn.neighbors* kütüphanesinin *KNeighborsClassifier* metodundan faydalanılmış ve bu metoda tespit edilen en yakın komşuluk değeri parametre verilerek bir model oluşturulmuştur.



Şekil 2. K değeri hata oranı

## 2.7. Naive Bayes

Naive Bayes (NB), sınıflandırma yapmak amacıyla kullanılan olasılıksal bir makine öğrenmesi algoritmasıdır (Aydın, 2018). NB algoritması sınıflandırma işleminde değerleri birbirinden bağımsız olarak ele almaktadır. Sınıfların ve örnek verilerin hangi sınıflara ait olduğu bellidir. Algoritma bir eleman için her durumun olasılığını hesaplamakta ve olasılık değeri en yüksek olana göre sınıflandırma yapmaktadır. Test kümesindeki bir verinin eğitim kümesinde bir karşılığı mevcut değilse o veri için olasılık değeri olarak 0 atanmakta ve tahmin yapılamamaktadır. Bu durum literatürde Sıfır Frekans (Zero Frequency) olarak bilinmektedir (Wu, 2013). Bu çalışmada NB

sınıflandırma algoritması için Python'a ait *sklearn.naive\_bayes* kütüphanesinin *GaussianNB* metodundan faydalanılarak bir model oluşturulmuştur.

## 2.8. Destek Vektör Makinesi

Destek Vektör Makinesi (DVM), sınıflandırma amacıyla kendisinden faydalanılan oldukça etkili ve basit öğrenme teorisine dayalı bir algoritmadır (Taşçı ve Şamlı, 2020). Temel olarak iki sınıfa ait verileri birbirinden en uygun şekilde ayırmak için kullanılmaktadır. Bunun için bir düzlemde bulunan iki grup arasında bir sınır çizilmesi gerekmektedir. Algoritma bu sınırın nasıl çizileceğini belirlemektedir. DVM sınıflandırma problemini kareli optimizasyon problemine dönüştürüp çözmektedir. Bu dönüşüm ile öğrenme aşamasında işlem sayısı azalmakta ve diğer algoritmalara göre daha hızlı çözüme ulaşılmaktadır (Osowski ve ark., 2004). Öte yandan algoritma çekirdek (*kernel*) fonksiyonları sayesinde doğrusal (*linear*) olarak ayrıştırılabilen sınıfların belirlenmesinde de sıkça tercih edilmektedir. Bu çalışmada DVM algoritması için Python'a ait *sklearn.svm* kütüphanesinin *SVC* metodundan doğrusal olarak faydalanılarak bir model oluşturulmuştur.

## 2.9. Karar Ağacı

Karar Ağacı (KA), karar ve yaprak düğümlerinden oluşan ve ağaç yapısında model oluşturan bir sınıflandırma algoritmasıdır. KA algoritması oldukça büyük veri kümelerini karar verme kurallarına göre küçük parçalara bölerek işlem yapmaktadır. Karar ağacı farklı türden verilerden oluşabilmektedir ve karar ağaçlarıyla sınıflandırma yapmak için CART (Classification and Regression Trees) algoritmasından sıklıkla faydalanılmaktadır. Bu algoritma ile kök düğümünden başlanarak her bir düğüm iki yapağa ayrılmakta ve karar ağacı yapısında ikili dallanmalar oluşmaktadır. Öte yandan bir karar ağacında düğüme bağlı her yaprak bir sınıf değerini göstermekte ve hangi dalın en iyi seçim olacağına karar vermek için yapraklarda olumlu ve olumsuz sınıflarının sayısını kontrol etmek yeterli olmaktadır. Yaprakta olumlu ve olumsuz tek bir sınıf oluştuğunda ve daha fazla bölünmeye gerek duyulmadığında aşağı yönde hareket eden bölme işlemi sonlandırılmaktadır (Aksu ve Doğan, 2019). Bu çalışmada CART karar ağacı algoritması için Python'a ait *sklearn.tree* kütüphanesinin *DecisionTreeClassifier* metodundan faydalanılarak bir model oluşturulmuştur.

## 2.10. Rastgele Orman

Rastgele Orman (RO), veri setinin eğitim için ayrılmış parçasındaki verilerden birden fazla karar ağacı oluşturan bir sınıflandırma algoritmasıdır. Literatürde topluluk öğrenme yöntemi olarak da adlandırılan rastgele orman, çok sayıda karar ağacına ait sınıflandırma sonuçlarından yararlanarak verilen test girdisinin sınıfına çoğunluk oyu ile karar vermektedir (Kalaycı, 2018). Algoritma, ilk başta eğitim verisini kullanarak çok sayıda karar ağacı oluşturmaktadır. Daha sonra veri setinin test için ayrılmış parçasını sınıflandırmak için test verilerini her bir ağaca yerleştirmektedir. Son aşamada her bir ağaçtan elde ettiği sınıflandırmayı değerlendirerek en yüksek değere sahip olanı seçmektedir. Bu çalışmada eğitim verisinden faydalanarak ilgili veri seti için en uygun ağaç sayısı değeri 100 olarak tespit edilmiştir. Ayrıca RO için Python'a ait *sklearn.ensemble* kütüphanesinin *RandomForestClassifier* metodundan faydalanılarak bir model oluşturulmuştur.

## 2.11. Model Başarım Ölçütleri

Değerlendirme sürecinde (6) sınıflandırma algoritmalarının performansını hesaplamak amacıyla literatürde sık kullanılan bir takım model başarım ölçütünden faydalanılmıştır (Kaynar ve ark., 2016) (Varol ve İşeri, 2019). Bu ölçütlerin formülasyonunda kullanılan parametreler şu şekilde tanımlanmaktadır:

**TP (True Positive, Doğru Pozitif):** Olumlu olan ve aynı zamanda sınıflandırıcı tarafından olumlu kabul edilen yorumların sayısıdır.

**TN (True Negative, Doğru Negatif):** Olumsuz olan ve aynı zamanda sınıflandırıcı tarafından olumsuz kabul edilen yorumların sayısıdır.

**FP (False Positive, Yanlış Pozitif):** Olumsuz olan ancak sınıflandırıcı tarafından olumlu kabul edilen yorumların sayısıdır.

**FN (False Negative, Yanlış Negatif):** Olumlu olan ancak sınıflandırıcı tarafından olumsuz kabul edilen yorumların sayısıdır.

Bu parametreler kullanılarak hesaplanan model başarım ölçütlerinin tanımı ve formülasyonu ise aşağıda yer almaktadır:

**Doğruluk (Accuracy):** Doğru tahminlerin tüm tahminlere oranıdır. Doğruluk ölçütü (1) ile verilen formül kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$\text{Doğruluk} = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN} \quad (1)$$

**Hassaslık (Precision):** Doğru pozitif tahminlerin sayısının doğru ve yanlış pozitif tahminlerin sayılarının toplamına oranıdır. Hassaslık ölçütü (2) ile verilen formül kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$\text{Hassaslık} = \frac{TP}{TP+FP} \quad (2)$$

**Geri Çağırma (Recall):** Doğru pozitif tahminlerin sayısının doğru pozitif ve yanlış negatif tahminlerin sayılarının toplamına oranıdır. Geri çağırma ölçütü (3) ile verilen formül kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$\text{Geri Çağırma} = \frac{TP}{TP+FN} \quad (3)$$

**F-skor (F-score):** Hassaslığın ve geri çağırmanın harmonik ortalamasıdır. F-skor ölçütü (4) ile verilen formül kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$F - \text{skor} = 2 \times \frac{\text{precision} \times \text{recall}}{\text{precision} + \text{recall}} \quad (4)$$

## 2.12. Test Ortamı

Bu çalışmada değerlendirmeye alınan sınıflandırma algoritmaları Tablo 3'de yer alan konfigürasyonlara sahip bir dizüstü bilgisayarda gerçekleştirilmiştir ve çalıştırılmıştır.

Tablo 3. Konfigürasyon

Sistem	Özellik
<b>İşlemci (Processor)</b>	Intel® Core™ i7-4870HQ Processor, 6 MB Cache, 2.5 GHz (Launch Date: Q3'14)
<b>Bellek (Memory)</b>	16 GB, 1600 MHz DDR3
<b>İşletim Sistemi (Operating System)</b>	Part 1: macOS High Sierra Part 2: Windows 10+Ubuntu 18.04 (WSL, Windows Subsystem for Linux)

### 3. Analiz ve Deney Sonuçları

Duygu analizi için veri madenciliği sınıflandırma algoritmalarının karşılaştırılması üzerine hazırlanan bu çalışmada materyal ve yöntem bölümünde detaylandırılan veri seti ve algoritmalar kullanılarak ürün, film ve restoran yorumlarına dayalı analizler yapılmıştır. Yine bu çalışma kapsamında duygu analizi üzerine yapılmış literatürdeki diğer çalışmaların aksine daha fazla model ile kıyaslama gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmada K-En Yakın Komşu, Naive Bayes, Destek Vektör Makinesi, Karar Ağacı ve Rastgele Orman sınıflandırma algoritmalarından yararlanılmıştır. Bu algoritmaların her biri *Anaconda* ortamında Python programlama dili ve *scikit-learn* kütüphanesi ile gerçekleştirilmiş ve içerisinde 3000 farklı verinin yer aldığı kapsamlı bir veri seti ile test edilmiştir. Test amacıyla veri setinin %25'lik kısmından faydalanılmış, %75'lik kısmı ise eğitim için kullanılmıştır.

Tablo 4, sadece Amazon isimli veri setinde yer alan 1000 adet ürün yorumu kullanılarak gerçekleştirilen sınıflandırma algoritmalarının dört farklı model başarımları ölçütüyle performanslarının karşılaştırıldığı tablodur. Bu tablo incelendiğinde en iyi sonuçlara %79.6 doğru sınıflandırma oranıyla DVM ve %75.6 doğru sınıflandırma oranıyla KNN sınıflandırma algoritmaları ile ulaşıldığı ve NB algoritmasının diğer yaklaşımlara kıyasla daha düşük bir performans sergilediği görülmektedir.

Tablo 4. Amazon veri seti model başarımları ölçütleri

Algoritma	Doğruluk	Hassaslık	Geri Çağırma	F-skör
<b>DVM</b>	0.796	0.794	0.795	0.794
<b>KNN</b>	0.756	0.760	0.762	0.756
<b>RO</b>	0.740	0.740	0.731	0.733
<b>KA</b>	0.720	0.717	0.715	0.716
<b>NB</b>	0.712	0.720	0.720	0.712

Tablo 5, sadece Imdb isimli veri setinde yer alan 1000 adet film yorumu kullanılarak gerçekleştirilen sınıflandırma algoritmalarının dört farklı model başarımları ölçütüyle performanslarının karşılaştırıldığı tablodur. Bu tablo incelendiğinde en iyi sonuçlara %80 doğru sınıflandırma oranıyla DVM ve %75.6 doğru sınıflandırma oranıyla KNN sınıflandırma algoritmaları ile ulaşıldığı ve KA algoritmasının diğer yaklaşımlara kıyasla daha düşük bir performans sergilediği görülmektedir.

Tablo 5. Imdb veri seti model başarımları ölçütleri

Algoritma	Doğruluk	Hassaslık	Geri Çağırma	F-skör
<b>DVM</b>	0.800	0.796	0.794	0.795
<b>KNN</b>	0.756	0.758	0.765	0.752
<b>RO</b>	0.744	0.748	0.740	0.742
<b>NB</b>	0.676	0.679	0.679	0.676
<b>KA</b>	0.664	0.660	0.658	0.660

Tablo 6, sadece Yelp isimli veri setinde yer alan 1000 adet restoran yorumu kullanılarak gerçekleştirilen sınıflandırma algoritmalarının dört farklı model başarımları ölçütüyle performanslarının karşılaştırıldığı tablodur. Bu tablo incelendiğinde en iyi sonuçlara %79.2 doğru sınıflandırma oranıyla DVM ve %77.2 doğru sınıflandırma oranıyla KNN sınıflandırma algoritmaları ile ulaşıldığı ve NB algoritmasının diğer yaklaşımlara kıyasla daha düşük bir performans sergilediği görülmektedir.

Tablo 6. Yelp veri seti model başarımları ölçütleri

Algoritma	Doğruluk	Hassaslık	Geri Çağırma	F-skör
<b>DVM</b>	0.792	0.801	0.792	0.790
<b>KNN</b>	0.772	0.776	0.772	0.771
<b>RO</b>	0.756	0.781	0.756	0.751
<b>KA</b>	0.724	0.725	0.724	0.724
<b>NB</b>	0.696	0.699	0.696	0.695

Tablo 7 ise Amazon, Imdb ve Yelp isimli veri setlerinin birleştirilmesiyle elde edilen ve 3000 yorumdan oluşan yeni veri seti kullanılarak gerçekleştirilen sınıflandırma algoritmalarının dört farklı model başarımları ölçütüyle performanslarının karşılaştırıldığı tablodur. Bu tablo incelendiğinde en iyi sonuçlara %85 doğru sınıflandırma oranıyla DVM ve %81.3 doğru sınıflandırma oranıyla KNN sınıflandırma algoritmaları ile ulaşıldığı görülmektedir.

Tablo 7. Birleştirilmiş veri seti model başarımları ölçütleri

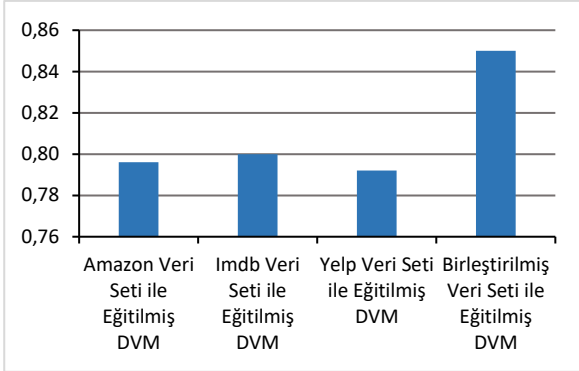
Algoritma	Doğruluk	Hassaslık	Geri Çağırma	F-skör
<b>DVM</b>	0.850	0.851	0.850	0.850
<b>KNN</b>	0.813	0.818	0.814	0.813
<b>RO</b>	0.770	0.771	0.770	0.770
<b>KA</b>	0.723	0.738	0.725	0.720
<b>NB</b>	0.703	0.712	0.702	0.699

Bu durum DVM'nin büyük ve veri çeşitliliği fazla veri setleri için KNN'ye kıyasla daha etkili olduğuna işaret etmektedir. Öte yandan RO'nun barındırdığı birden fazla karar ağacına ait sınıflandırma sonuçlarını kullanarak en ideal sonuca ulaşması nedeniyle tek bir ağaca sahip klasik KA algoritmasına göre %93.8 oranında (RO ve KA'nın doğruluk ölçütüne göre kıyaslanması sonucu ulaşılan oran) daha başarılı bir performans sergilediği anlaşılmaktadır. Bu durumun veri büyüklüğünün ve



çeşitliliğinin bir sonucu olduğu değerlendirilmektedir. Öte yandan NB algoritmasının diğer yaklaşımlara kıyasla daha düşük bir performans sergilediği anlaşılmaktadır.

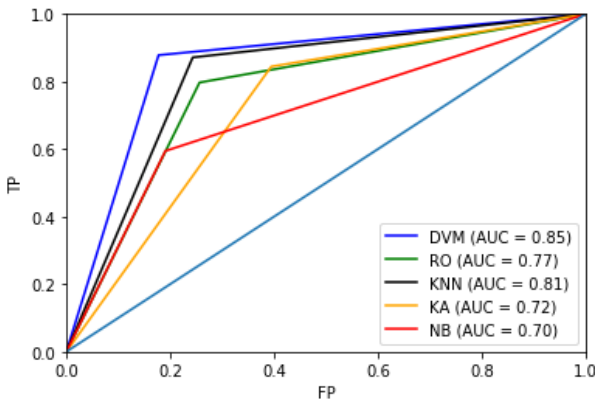
Tüm algoritmalar arasında en iyi performansı gösteren DVM algoritmasının, kullanılan her bir veri seti ile ayrı ayrı ve tüm veri setlerinin birleşiminden oluşan tek bir veri seti ile eğitilmesi sonucu ulaşılan doğruluk değerleri Şekil 3 ile verilen grafikte yer almaktadır. Bu grafik incelendiğinde DVM algoritmasının performansının dördüncü veri setinin heterojen yapısına rağmen arttığı anlaşılmaktadır. Aynı algoritmanın homojen verilerden oluşan diğer 3 veri seti ile ayrı ayrı eğitilmesi durumunda performansının azaldığı ise bu grafikten çıkarılabilecek bir başka sonuçtur.



Şekil 3. DVM algoritmasının doğruluk grafiği

Çalışmada elde edilen sonuçların daha iyi değerlendirilebilmesi amacıyla tasarımın 7 numaralı adımında algoritmaların performansları günümüzde yaygın olarak kullanılan AUC-ROC eğrisi ile görselleştirilmiştir. ROC eğrisinin altındaki alanı ifade eden AUC'nin büyüklüğü modelin başarısının bir ölçüsü olarak kabul edilmektedir. Görselde yer alan eğrinin sol üst köşesine yaklaştıkça sonuçların doğruluğu artmaktadır.

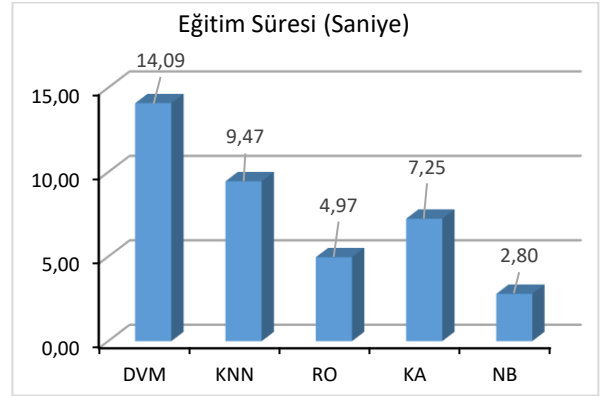
Şekil 4'de yer alan ROC eğrisi incelendiğinde DVM'nin sol üst köşeye en yakın algoritma olduğu ve tüm algoritmaların doğruluğunun %50'nin üzerinde olduğu görülmektedir.



Şekil 4. ROC eğrisi

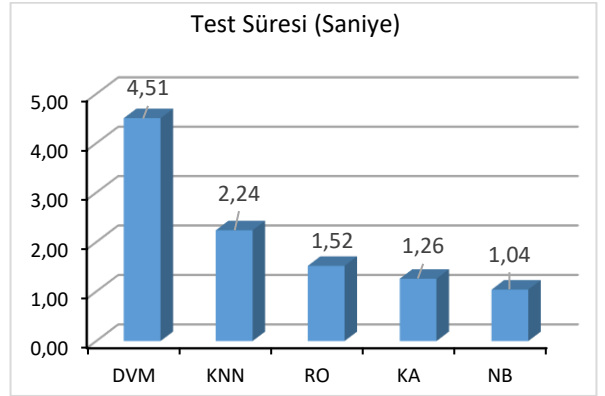
Şekil 5'de bu çalışma kapsamında performansı analiz edilen beş algoritmanın her birine ait eğitim süreleri yer almaktadır. Bu şekle göre duygu analizinde eğitim sürecini en hızlı tamamlayan algoritma NB'dir. Veri setinde yer alan işlemlerin ve özniteliklerin sayısının fazlalığı DVM algoritmasının eğitim sürecini diğer algoritmalara kıyasla oldukça olumsuz etkilemiştir. Öte yandan en AUROC skorunda en yüksek

algoritmaya en yakın olan KNN, modeli eğitmek için DVM'nin yarısından daha fazla bir süreye ihtiyaç duymuştur.



Şekil 5. Algoritmaların eğitim süreleri

Şekil 6'da ise test süreleri görülmektedir. Algoritmaların test sürelerinin eğitim sürelerine hemen hemen paralel bir trend izlediği anlaşılmaktadır. Başka bir deyişle test süreci en uzun süren algoritmalar DVM ve KNN iken, bu süreci en hızlı tamamlayan algoritma yine NB olmuştur.



Şekil 6. Algoritmaların test süreleri

### 3.1. Literatürdeki Benzer Çalışmalarla Performans Karşılaştırması

Bu alt bölümde, doğruluk kriteri açısından bu çalışmanın en iyi algoritması olan DVM, literatürde aynı veri setlerini kullanan çalışmalarda farklı algoritmalar ile karşılaştırılmıştır.

İlk çalışmada (Bari ve Saatcioglu (2018)), beş farklı algoritma tüm veri setlerine (Amazon, Yelp, Imdb) uygulanmıştır. Tablo 8, DVM modelimizin doğruluk kriteri açısından ilgili çalışmadaki tüm algoritmalara kıyasla daha başarılı olduğunu göstermektedir.

İkinci çalışmada (Rathee ve ark., (2018)), dokuz farklı algoritma tüm veri setlerine (Amazon, Yelp, Imdb) uygulanmıştır. Tablo 8, DVM modelimizin doğruluk kriteri açısından ilgili çalışmadaki tüm algoritmalara kıyasla daha başarılı olduğunu göstermektedir.

Üçüncü çalışmada (Wei (2021)), dört farklı algoritma Imdb ve Yelp veri setine geri kalan dört algoritma ise sadece Yelp veri setine uygulanmıştır (Amazon veri setine ait doğruluk değerleri bu çalışmada paylaşılmamıştır). Tablo 8, DVM modelimizin doğruluk kriteri açısından ilgili çalışmadaki tüm algoritmalara kıyasla daha başarılı olduğunu göstermektedir.

Tablo 8. DVM modelinin literatürdeki diğer ilgili çalışmalarla karşılaştırılması

Algoritma	Amazon Doğruluk	Imdb Doğruluk	Yelp Doğruluk
TB Polarity	0.747	0.740	0.761
TB Subjectivity	0.695	0.628	0.686
OF Polarity	0.640	0.667	0.657
OF Subjectivity	0.525	0.551	0.544
Stanford NLP	0.758	0.784	0.774
Bari ve Saaticioglu (2018)			
Logistic Regression	0.752	0.740	0.756
K-Nearest Neighbors	0.652	0.616	0.656
Support Vector Machine Classifier	0.476	0.484	0.448
Decision Tree Classifier	0.748	0.676	0.740
Random Forest Classifier	0.752	0.760	0.760
AdaBoost Classifier	0.744	0.708	0.728
Gaussian Naive Bayes	0.676	0.724	0.648
Bagging (Random Forest)	0.708	0.720	0.756
Bagging (Ada Boost)	0.764	0.680	0.728
Rathee ve ark., (2018)			
UPNN		0.435	0.608
HUAPA		0.550	0.686
NSC+LA		0.487	0.630
NSC+UPA	-	0.533	0.667
VistaNet			0.619
VS-CNN(Itemoriented)		-	0.620
VS-CNN(Useroriented)			0.649
Wei (2021)			
<b>Bu Çalışmanın DVM Uygulaması</b>	<b>0.796</b>	<b>0.800</b>	<b>0.792</b>

#### 4. Sonuç

Bu çalışmada duygu analizi için beş farklı veri madenciliği sınıflandırma algoritmasının performansı karşılaştırılmıştır. Tüm algoritmaların kullanılan her bir veri seti ile ayrı ayrı çalıştırılmasına kıyasla tüm veri setlerinin birleşiminden oluşan tek bir veri seti ile eğitilmesinin performans artışına neden olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum veri çeşitliliğinin ve büyüklüğünün önemini bir kez daha gözler önüne sermiştir. Öte yandan DVM'nin birleştirilmiş veri setinin büyüklüğüne ve çeşitliliğine rağmen %85'lik bir doğruluk oranıyla diğer algoritmalara kıyasla en etkili analiz aracı olduğu ortaya çıkmıştır. Bu amaçla dört farklı başarımlı ölçütünden faydalanılmıştır ve bu ölçütlerden biri ROC eğrisi ile görselleştirilmiştir.

Gelecekte yapılacak çalışmalarda veri seti çeşitliliğinin ve boyutunun daha da artırılması, ayrıca derin öğrenmeye dayalı sınıflandırma algoritmaları kullanılarak duygu analizinin gerçekleştirilmesi planlanmaktadır.

#### 5. Referanslar

Aksu, G., & Dogan, N. (2019). Comparison of Decision Trees Used in Data Mining= Veri madenciliğinde kullanılan karar ağaçlarının karşılaştırılması. *Pegem Journal of Education and Instruction*, 9(4), 1183-1208.

- Albayrak, M., Topal, K., Altıntaş, V. (2017). Sosyal Medya Üzerinde Veri Analizi: Twitter. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 22(Kayfor 15 Özel Sayısı), 1991-1998.
- Anonim (2020). Internet: UCI ML Repository Sentiment Analysis Dataset, <http://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/Sentiment+Labelled+S+entences>, Son Erişim Tarihi: 28.03.2021.
- Aydın, C. (2018). Makine öğrenmesi algoritmaları kullanılarak itfaiye istasyonu ihtiyacının sınıflandırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (14), 169-175.
- Balahur, A., Hermida, J. M., Montoyo, A. (2012). Detecting implicit expressions of emotion in text: A comparative analysis. *Decision Support Systems*, 53(4), 742-753.
- Bari, A., & Saaticioglu, G. (2018, August). Emotion artificial intelligence derived from ensemble learning. In *2018 17th IEEE International Conference On Trust, Security And Privacy In Computing And Communications/12th IEEE International Conference On Big Data Science And Engineering (TrustCom/BigDataSE)* (pp. 1763-1770). IEEE.
- Burcu, A. K. I. N., Şimşek, U. T. G. (2018). Sosyal Medya Analitiği İle Değer Yaratma: Duygu Analizi İle Geleceğe Yönelim. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 5(3), 797-811.
- Coşkun, C., & Baykal, A. (2011). Veri madenciliğinde sınıflandırma algoritmalarının bir örnek üzerinde karşılaştırılması. *Akademik Bilişim*, 2011, 1-8.
- Demir, C. G., Yılmaz, H. (2018). Sınıf dışı eğitim faaliyetlerinin öğrencilerin bilim ve teknolojiye yönelik tutumlarına etkisi ve duygu analizi. *İnsan ve Toplum Bilimleri Araştırmaları Dergisi*, 7(5), 101-116.
- Güran, A., & Kınık, D. (2021). TF-IDF ve Doc2Vec Tabanlı Türkçe Metin Sınıflandırma Sisteminin Başarım Değerinin Ardışık Kelime Grubu Tespiti ile Artırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (21), 323-332.
- Kalaycı, T. E. (2018). Kimlik hırsızlığı web sitelerinin sınıflandırılması için makine öğrenmesi yöntemlerinin karşılaştırılması. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 24(5), 870-878.
- Kaynar, O., Yıldız, M., Görmez, Y., & Albayrak, A. (2016). td öğrenmesi yöntemleri ile Duygu Analizi. In *International Artificial Intelligence and Data Processing Symposium (IDAP'16)* (pp. 17-18).
- Khan, F. H., Qamar, U., & Bashir, S. (2016). eSAP: A decision support framework for enhanced sentiment analysis and polarity classification. *Information Sciences*, 367, 862-873.
- Kotzias, D., Denil, M., De Freitas, N., & Smyth, P. (2015, August). From group to individual labels using deep features. In *Proceedings of the 21th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining* (pp. 597-606).
- Kılınç, D., Borandağ, E., Yücalar, F., Tunali, V., Şimşek, M., & Özçift, A. (2016). KNN algoritması ve r dili ile metin madenciliği kullanılarak bilimsel makale tasnifi. *Marmara Fen Bilimleri Dergisi*, 28(3), 89-94.
- Liu, H., & Zhang, S. (2012). Noisy data elimination using mutual k-nearest neighbor for classification mining. *Journal of Systems and Software*, 85(5), 1067-1074.
- Nalçakan, Y., Bayramoğlu, Ş. S., & Tuna, S. (2015). *Sosyal Medya Verileri Üzerinde Yapay Öğrenme ile Duygu Analizi Çalışması*. Technical Report.
- Onan, A., & Korukoğlu, S. (2016). Makine öğrenmesi yöntemlerinin görüş madenciliğinde kullanılması üzerine bir

- literatür araştırması. *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 22(2).
- Orakcı, M., Cıylan, B., Kök, İ., & Sevri, M. (2019). Suç Analizinde Veri Madenciliği Teknikleri Ve Makine Öğrenmesi Algoritmalarının Kullanılması.
- Osowski, S., Siwek, K., & Markiewicz, T. (2004, June). Mlp and svm networks-a comparative study. In *Proceedings of the 6th Nordic Signal Processing Symposium, 2004. NORSIG 2004*. (pp. 37-40). IEEE.
- Pang, B., Lee, L., & Vaithyanathan, S. (2002). Thumbs up? Sentiment classification using machine learning techniques. *arXiv preprint cs/0205070*.
- Parlar, T., Saraç, E., & Özel, S. A. (2017, May). Comparison of feature selection methods for sentiment analysis on Turkish Twitter data. In *2017 25th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)* (pp. 1-4). IEEE.
- Rathee, N., Joshi, N., & Kaur, J. (2018, June). Sentiment analysis using machine learning techniques on python. In *2018 Second International Conference on Intelligent Computing and Control Systems (ICICCS)* (pp. 779-785). IEEE.
- Seker, S. E. (2016). Duygu Analizi (Sentimental Analysis). *YBS Ansiklopedi*, 3(3), 21-36.
- Şentürk, A. (2006). *Veri madenciliği: kavram ve teknikler*. Ekin Yayınevi.
- Taşçı, M. E., & Şamlı, R. (2020). Veri Madenciliği İle Kalp Hastalığı Teşhisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 88-95.
- Topaçan, Ü. (2016). Sosyal medya paylaşımlarında duygu analizi: makine öğrenimi yaklaşımı üzerine bir araştırma. Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul, 1-216.
- Uçkan, T., Cengiz, H. A. R. K., Seyyarer, E., & Karcı, A. Ağırlıklandırılmış Çizgelerde Tf-Idf ve Eigen Ayrışımı Kullanarak Metin Sınıflandırma. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 8(4), 1349-1362.
- Varol, A. B., & İşeri, İ. (2019). Lenf Kanserine İlişkin Patoloji Görüntülerinin Makine Öğrenimi Yöntemleri ile Sınıflandırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 404-410.
- Zhang, L., Hua, K., Wang, H., Qian, G., & Zhang, L. (2014). Sentiment analysis on reviews of mobile users. *Procedia Computer Science*, 34, 458-465.
- Wei, Y. (2021, January). A Survey of Sentiment Analysis Based on Product Review. In *2021 2nd International Conference on Computing and Data Science (CDS)* (pp. 57-63). IEEE.
- Wu, J., Cai, Z., & Zhu, X. (2013, August). Self-adaptive probability estimation for naive bayes classification. In *The 2013 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN)* (pp. 1-8). IEEE.



# Investigation of Optimum Insulation Thickness for External Walls of Poultry Farms in Bandırma

Asiye Aslan<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup>Bandırma Onyedli Eylül University, Gönen Vacation School, Balıkesir, Turkey, (ORCID: 0000-0002-1173-5008), [aaaslan@bandirma.edu.tr](mailto:aaaslan@bandirma.edu.tr)

(First received 5 April 2021 and in final form 28 November 2021)

(DOI:10.31590/ejosat.909830)

**ATIF/REFERENCE:** Aslan, A. (2021). Investigation of Optimum Insulation Thickness for External Walls of Poultry Farms in Bandırma. *European Journal of Science and Technology*, (27), 890-897.

## Abstract

Poultry farms have an important place in the economy of Bandırma. This study examined the optimum insulation thickness, energy saving, payback period, and CO<sub>2</sub> emissions for poultry farms buildings' external walls in Bandırma. Calculations were made according to five different fuels (coal, natural gas, LPG, fuel oil, and electricity) and two different insulation materials (Expanded Polystyrene and Extruded Polystyrene). The Life Cycle Cost method has been applied as the approach. The equilibrium temperature, on which the calculations were based, was the temperature values required by broilers during the 6-week production season ( $T_{base}= 31, 29, 25, 23.50, 22.50$  and  $20.50^{\circ}C$ ). The degree day values calculated according to these equilibrium temperatures were obtained as 3111 for heating and 79 for cooling. The results showed that the optimum insulation thickness varied in the range of 0.065-0.233 in heating. The amount of savings and payback period vary between 17.75-122 \$/m<sup>2</sup> and 1.72-1.20 years, respectively. It was calculated that a reduction by 80-90% in fuel quantity and CO<sub>2</sub> emissions could be achieved when optimum insulation thickness was applied. This study aims to contribute to Bandırma's becoming an important place in the poultry sector.

**Keywords:** Degree days, Energy saving, Optimum insulation thickness, CO<sub>2</sub> emission.

## Bandırma'da Tavuk Çiftliklerinin Dış Duvarları İçin Optimum Yalıtım Kalınlığının Araştırılması

### Öz

Bandırma ekonomisinde tavukçuluk tesisleri önemli bir yer tutmaktadır. Bu çalışmada Bandırma'da bulunan tavuk tesisi binaları dış duvarları için optimum yalıtım kalınlığı, enerji tasarrufu, geri ödeme süresi ve CO<sub>2</sub> emisyonları araştırılmıştır. Beş farklı yakıt (doğalgaz, kömür, LPG, fuel oil ve elektrik) göre hesaplamalar yapılmıştır. İki farklı yalıtım malzemesi (Expanded Polistren ve Extruded Polistren) kullanılmıştır. Yaşam döngüsü maliyet analizi (LCCA) metodu uygulanmıştır. Hesaplamalarda temel alınan denge sıcaklığı, etlik piliçlerin 6 haftalık üretim sezonu boyunca ihtiyaç duyduğu sıcaklık değerleri ( $T_{temel}=31, 29, 25, 23.50, 22.50$  ve  $20.50^{\circ}C$ ) dir. Bu denge sıcaklıklarına göre hesaplanan derece gün değerleri ısıtma için 3111, soğutma için 79 olarak elde edilmiştir. Sonuçlarda, optimum yalıtım kalınlığının ısıtmada 0.065-0.233 aralığında değiştiği görülmektedir. Tasarruf miktarı ve geri ödeme süresi ise sırasıyla 17.75-122 \$/m<sup>2</sup> ve 1.72-1.20 yıl aralığında değişmektedir. Optimum yalıtım kalınlığı uygulanması durumunda yakıt miktarında ve CO<sub>2</sub> emisyonlarında ise %80-90 oranında azalma sağlanabileceği hesaplanmıştır. Bu çalışma ile Bandırma'nın tavukçuluk sektöründe önemli bir yer kazanmasına katkıda bulunmak amaçlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Derece gün, Enerji tasarrufu, Optimum yalıtım kalınlığı, CO<sub>2</sub> emisyon.

\*Corresponding Author: [aaaslan@bandirma.edu.tr](mailto:aaaslan@bandirma.edu.tr)

## 1. Introduction

Energy is one of the main inputs for economic and social development. Energy consumption is inevitably growing in parallel with the increasing population, urbanization, industrialization, the expansion of technology and the increase in prosperity. Energy needs to be used in the most economic and efficient way.

Factors affecting productivity in the field of animal husbandry and, especially, in poultry are collected in two groups: genotype and environmental conditions. In environmental conditions, temperature mainly affects both the health and efficiency of animals (Arıtürk et al., 1986). When planning the construction of a good poultry coop, factors such as ensuring that the coop is least affected by cold in winter, heat in summer, preventing sudden temperature changes and moisture condensation, ensuring that the appropriate temperature in the coop is maintained should be taken into account (Özdemir and Poyraz, 1997).

Protecting poultrys from the effects of climate and providing the optimal conditions necessary for increasing yields depends on the correct planning and design of coops. Effective provision of the desired environmental conditions in coops throughout the year is possible with isolation (Özdemir and Poyraz, 1997). Heat loss is prevented in winter and heat gain in summer through insulation. It increases comfort by reducing heating and cooling costs. Insulation not only helps maintain the desired temperature level, but also helps control surface perspiration.

In the literature, many studies were conducted to determine the optimum insulation thickness on buildings in Turkey and different countries. Hasan, 1999 calculated the optimum insulation thickness using the life cycle cost analysis method for different structures of wall. It was calculated that wall space can be saved up to 21 \$/m<sup>2</sup>. The payback period for rock wool and polystyrene was determined in the range of 1-1.7 years and 1.3-2.3 years, respectively. Kaynaklı, 2008 calculated the optimum insulation thickness for a prototype building in Bursa, Turkey. It was determined that the annual energy needs of the building varied according to various architectural design features. The results showed that the insulation thickness of the optimum varied between 5.3 and 12.4 cm depending on the fuel types. Natural gas is considered the most suitable fuel for all climate zones in Turkey in terms of costs. The optimum insulation thickness for the external walls was calculated by Uçar and Balo, 2010 for four cities from four different climatic zones in Turkey. Five fuels and four insulation materials were used in the calculations. It was calculated that it could be saved between 4.2 and 9.5 \$/m<sup>2</sup>. Alsayed and Tayeh, 2019 analyzed the building insulation effects on annual heating and cooling loads in Palestine. Optimum insulation thickness of external walls were calculated based on the use of LPG in winter and electrical energy in summer. Optimum insulation thickness varied between 0.4 and 0.9 cm. Kürekçi, 2016 determined the optimum insulation thickness for 81 cities in Turkey based on the heating and cooling degree days. Calculations were made using four different fuels and three different insulation materials. As a result, net energy savings increased for natural gas, coal, fuel oil, and LPG, respectively, while payback periods were reduced.

Uçar and Usame Dumrul, 2019 calculated the optimum insulation thickness for Malatya city in Turkey for only heating, only cooling, and both heating and cooling situations using three different fuel types (natural gas, coal, and electricity) and two different insulation materials (XPS and EPS) for two different wall models (sheathing and sandwich methods). Consequently, optimum insulation thickness varied between 0.0549 m and 0.0836 m. Liu et al., 2015 used the P1-P2 economic model to determine the optimum insulation thickness for external walls. For Chengdu, Changsha, and Shaoguan in China, optimum insulation thickness ranged from 0.053 to 0.069 m when XPS was used, and from 0.081 to 0.105 m when EPS was used. Axaopoulos et al., 2015 determined the optimum insulation thickness, wind speed, and direction for the external walls within the scope of the heating and cooling period. Wind data in Larnaca, Cyprus were statistically analyzed. It was determined that north-facing walls offered the most economic advantage compared to walls facing other directions. Rakshit et al., 2021 calculated the optimum insulation thickness, annual energy consumption, payback period, and CO<sub>2</sub> emissions for typical walls in 25 regions of Ireland. In the study, they reported that the wall type, materials, configuration, insulation type, and the type of heat energy all had significant effects on the annual cost. The calculated optimum insulation thickness in Ireland varied by 30% as a result of the increase in the number of heating days from low to high. Sabapathy and Gedupudi, 2020 performed an energy-saving analysis by using a numerical analysis for three building shell configurations in five different climate zones of India. The insulating potential of straw, which is an agricultural waste in the context of India's broad climate, was the focus of this study. They concluded that energy savings in the range of 67-96% can be achieved in the different climatic zones by introducing straw to the outer shell only 10 cm in thickness. Rosti et al., 2020 determined ideal insulation thickness of the external wall, energy saving, and payback period of investment in all climate zones of Iran. Results revealed that the use of thermal insulation in the block wall, which is one of the common modern walls in Iran, is not economical in some cities.

However, despite many studies in this area, there are almost no studies aimed to specify the optimum insulation thickness for poultry buildings. In this study, the optimum insulation thickness of the external walls was calculated for the poultry farm facilities in Bandırma. The optimum insulation thickness was determined considering the climate of the region in the insulation for the inside temperature of the poultry. The HDD and CDD numbers were calculated using the degree day (DD) method to determine the heating and cooling energy needs. Meteorological data from 2007-2018 were used. Calculations were repeated for 5 different fuels (natural gas, coal, LPG, fuel oil, and electricity) and 2 different insulation materials according to Expanded polystyrene (EPS) and Extruded Polystyrene (XPS). Energy savings, payback periods and CO<sub>2</sub> emissions were calculated based on the insulation use.

## 2. Material and Method

### 2.1. Heating and cooling degree-days

Generally, DD is considered one of the simplest methods for energy calculation during heating and cooling buildings (Büyükalaca et al. 2021; Eto, 1988). Degree-days are characterized with the sum of temperature differences between the average outdoor air temperature over a given period of time

and a known reference temperature. In this study, the number of heating degree days (HDD) and cooling degree days (CDD) in the poultry production period was determined using equations (1) and (2) (Küçüktopçu and Cemek, 2018; De Rosa et al., 2014; Christenson et al. 2006).

For  $T_{out} < T_{base}$ ,

$$HDD = \sum_1^n (T_{base} - T_{out}) \quad (1)$$

For  $T_{base} < T_{out}$ ,

$$CDD = \sum_1^n (T_{out} - T_{base}) \quad (2)$$

where n is the days total number during the period.  $T_{base}$  and  $T_{out}$  are the broilers base temperature and the mean temperature of outside air, respectively.

Broiler production time is recommended to be 41 and 42 days for maximum profit. In this study, production for 42 days and downtime and annual rotation were taken as 7 (Table 1). Optimum internal temperature values, which poultrys in poultry need on a weekly basis, are the equilibrium temperature values recommended by researchers for poultry breeding (Table 2).

Table 1. Periods and dates of poultry production (Küçüktopçu and Cemek, 2018; Matzarakis and Balafoutis, 2004).

Annual rotation	Dates	Number of days
Production 1	1 Jan - 11 Feb	42
Closed	12 Feb-23 Feb	12
Production 2	24 Feb-6 Apr	42
Closed	7 Apr - 18 Apr	12
Production 3	19 Apr -30 May	42
Closed	31 May- 11 Jun	12
Production 4	12 Jun-23 Jul	42
Closed	24 Jul -4 Aug	12
Production 5	5 Aug - 15 Sep	42
Closed	16 Sep -27 Sep	12
Production 6	28 Sep -8 Nov	42
Closed	9 Nov- 20 Nov	12
Production 7	21 Nov - 31 Dec	42

Table 2. Base temperature commended for broilers (Küçüktopçu and Cemek, 2018; Matzarakis and Balafoutis, 2004).

Time	$T_{base}(^{\circ}C)$
Week 1	31.00
Week 2	29.00
Week 3	25.00
Week 4	23.50
Week 5	22.50
Week 6	20.50

## 2.2. Optimum Insulation Thickness on External Walls of Poultry Farms

Optimum insulation thickness of external walls in buildings varies according to economic criteria such as the number of degree days, outdoor temperature, fuel type, type of thermal insulation material, inflation, and interest rate. In this study, the e-ISSN:2148-2683

life cycle costing analysis (LCCA) method was used for the external walls (Bolattürk, 2008; Şişman et al. 2007). Figure 1 shows the wall structure of the externally insulated poultry plant.

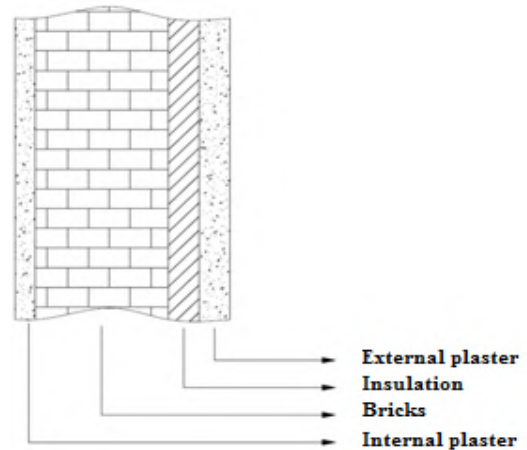


Figure 1. External wall structure.

Table 3 shows the properties and costs of fuels used (natural gas, coal, LPG, fuel oil) in heating and the cost of electricity used in cooling. Table 4 shows the properties of XPS and EPS insulation materials.

Table 3. Properties of fuels and system efficiency (Internet, 2019; Internet 2020a).

Fuel	Cost	Lower Heating Value, Hu	System Efficiency ( $\eta_s$ )(%)
Natural gas	0.2868 \$/m <sup>3</sup>	34.542x10 <sup>6</sup> J/m <sup>3</sup>	93
Coal	0.1921 \$/kg	25.122x10 <sup>6</sup> J/kg	65
LPG	1.75 \$/kg	46.442x10 <sup>6</sup> J/kg	88
Fuel-Oil	0.73 \$/kg	41.317x10 <sup>6</sup> J/kg	80
Electricity	0.1252 \$/kWh	2.5 (COP)	

Table 4. Properties of insulating materials (Internet 2020b).

Insulation material	Heat conduction coefficient, $\lambda$ (W/mK)	Cost (\$)
XPS (Extruded Polystyrene)	0.032	85
EPS (Expanded Polystyrene)	0.035	50

## 2.3. Calculating the Heat Load

Heat losses in a building occur in the form of heat transfer from building components and in the form of leakage from windows and doors. The heat transfer coefficient U (W/m<sup>2</sup>K) of a wall that includes an insulation layer is given by:

$$U = \frac{1}{R_i + R_w + R_{ins} + R_o} \quad (3)$$

where  $R_i$  and  $R_o$  are the inner and outer air-film thermal resistances, respectively.  $R_w$  is the total thermal resistance of the wall layers without insulation. The thermal resistance of the insulation layer  $R_{ins}$  is given by:

$$R_{ins} = \frac{x}{\lambda} \quad (4)$$

where  $\lambda$  (W/mK) is the thermal conductivity of the insulation material.  $x$  (m) is the thickness of the insulation material. If  $R_{wt}$  is the total the wall thermal resistance excluding the insulation layer resistance, equation (3) can be rewritten as:

$$U = \frac{1}{R_{wt} + R_{ins}} \quad (5)$$

The heat loss from unit surface for external wall:

$$q = U\Delta T \quad (6)$$

where  $U$  is the overall heat transfer coefficient. The annual heat losses from unit area can be approximately calculated depending on the degree-days number as the following:

$$q_A = 86400 \text{ DDU} \quad (7)$$

where  $DD$  is the degree days. The annual energy requirement for heating ( $E_A$ ) can be obtained approximately by dividing the annual heat loss to the efficiency of the heating system ( $\eta_s$ ):

$$E_A = \frac{86400 \text{ DD}}{\left(R_{wt} + \frac{x}{\lambda}\right) \eta_s} \quad (8)$$

$$m_{fA} = \frac{86400 \text{ DD}}{\left(R_{wt} + \frac{x}{\lambda}\right) H_u \eta_s} \quad (9)$$

The annual heating cost  $C_{A,H}$  (\$/m<sup>2</sup>-year) per unit area can be calculated by the equation (10):

$$C_{A,H} = \frac{86400 \text{ HDD} C_f}{\left(R_{wt} + \frac{x}{\lambda}\right) H_u \eta_s} \quad (10)$$

where  $C_f$  is fuel cost (\$/kg) and  $H_u$  is the lower heating value of the fuel (J/kg; J/m<sup>3</sup>). The annual cooling cost per unit area can be calculated using equation (11). COP is the performance coefficient of the cooling system and it was taken as 2.5 in this study (Kürekcı, 2016):

$$C_{A,C} = \frac{86400 \text{ CDD} C_f}{\left(R_{wt} + \frac{x}{\lambda}\right) \text{COP}} \quad (11)$$

## 2.4. Optimum Insulation Thickness Calculation

The LCC is one of the methods to calculate the optimum insulation thickness. Total heating cost is evaluated together with the present-worth factor PWF for the lifetime of  $N$  years. The PWF depends on the inflation rate ( $g$ ), and the interest rate ( $i$ ). According to the interest and inflation rates, PWF is defined as below:

$i > g$  then,

$$r = \frac{i - g}{1 + g}$$

$i < g$  then,

$$r = \frac{g - i}{1 + i}$$

$$\text{PWF} = \frac{(1 + r)^N - 1}{r(1 + r)^N} \quad (12)$$

$N$  life was taken as 10 years and annual inflation ( $g$ ) and interest ( $i$ ) rates and were taken as 12.66% and 8.25%, respectively according to 2020 data (Internet 2020c; Internet

2020d). The total heating cost of the insulated building is given by:

$$C_t = C_A \text{PWF} + C_1 x \quad (13)$$

or

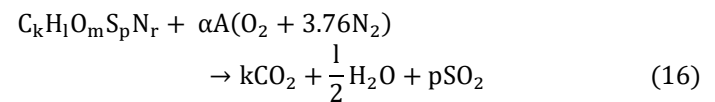
$$C_t = \frac{86400 \text{ HDD} C_f \text{PWF}}{\left(R_{wt} + \frac{x}{\lambda}\right) H_u \eta_s} + C_1 x \quad (14)$$

where  $C_1$  is the cost of insulation material in \$/m<sup>3</sup> and  $x$  is the insulation thickness in m. The optimum insulation thickness is obtained by minimizing equation (14). Hence, the derivative of  $C_t$  with respect to  $x$  is taken and set equal to zero from which the optimum insulation thickness  $x_{opt}$  is obtained as:

$$x_{opt} = 293.94 \left( \frac{\text{DD} C_f \text{PWF} \lambda}{H_u C_1 \eta_s} \right)^{1/2} - \lambda R_{wt} \quad (15)$$

## 2. 5. Environmental Analysis

The general chemical formula for the combustion of fuels is: as follows:



$A$  and  $B$  can be calculated from the equilibrium formula of oxygen:

$$A = k + \frac{l}{4} + p - \frac{m}{2} \quad (17)$$

$$B = 3.76 \alpha \left( k + \frac{l}{4} + p - \frac{m}{2} \right) + \frac{r}{2} \quad (18)$$

By ignoring  $CO$  and  $NO_x$  emissions, the emission amounts obtained by burning one (1) kg of fuel can be calculated using the equation (16) as follows:

$$M_{CO_2} = \frac{k CO_2}{M} \equiv \text{kg} CO_2 / \text{kg fuel} \quad (19)$$

The total amount of  $CO_2$  emission can be calculated by placing the total amount of fuel ( $m_{fA}$ ) within the scope of  $DD$  on the right side of the above equation:

$$M_{CO_2} = \frac{44k}{M} m_{fA} \quad (20)$$

$$M_{CO_2} = \frac{3801600 \text{ DD} k}{M \eta_s H_u} \left( \frac{\lambda}{\lambda R_{wt} + x} \right) \text{ kg/year} \quad (21)$$

The molar weight of fuel,  $M$  can be calculated as follows:

$$M = 12k + l + 16m + 32p + 14r \text{ kg/kmol} \quad (22)$$

## 3. Results and Discussion

In this study, optimum insulation thickness, energy-saving, and payback period were calculated for the external walls of the poultry plant buildings in Bandırma. The heating and cooling degree day values of the region were calculated using 12-year meteorological data, including 2007-2018, to provide the appropriate internal environment for the poultry breeder. The number of HDD was obtained as 3111 and the number of CDDs as 79.

Figure 2 identified optimal points where the total cost for heating and cooling loads was achieved as a minimum. The cost of fuel and heating load decreases as the insulation thickness

increases, while the cost of insulation increases. However, the sum of the cost of fuel and insulation decreases to a point, then increases again. This value, in which the total cost is obtained as a minimum, is the optimal insulation thickness value. When heating was provided using XPS insulation material in

Bandırma's climatic conditions, the optimum insulation thickness was obtained in the range of 0.065-0.167 m. When EPS insulation material was used, higher values were obtained in the range of 0.094-0.233.

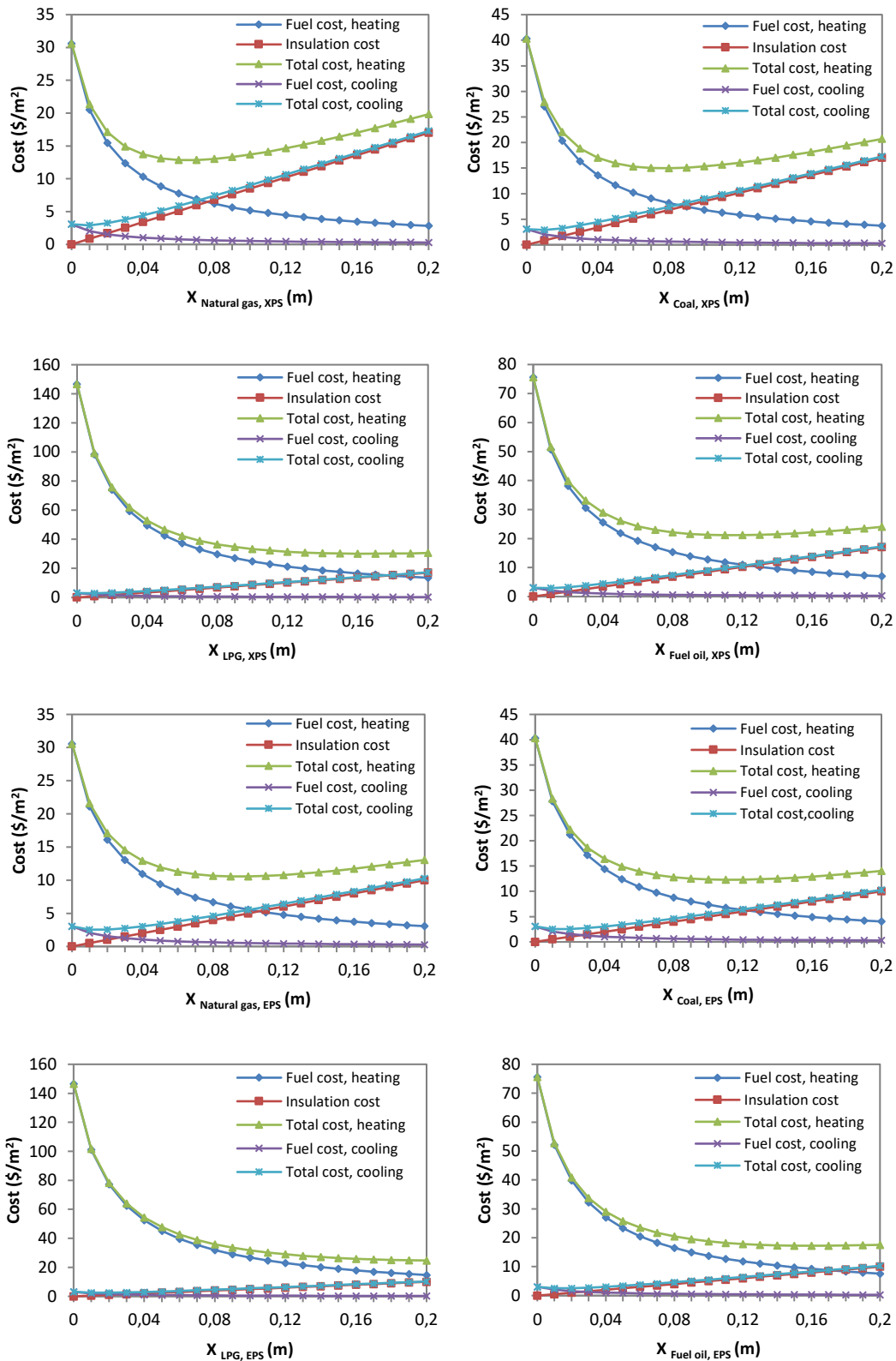


Figure 2. Optimum insulation thickness in heating and cooling.



Figure 3 shows the effect of annual savings amounts and payback periods for different sources of energy (natural gas, coal, LPG, and fuel oil) on insulation thickness when XPS and

EPS insulation material were used in heating. When LPG was used as the fuel type, more saving and the shortest repayment period were achieved due to its high cost.

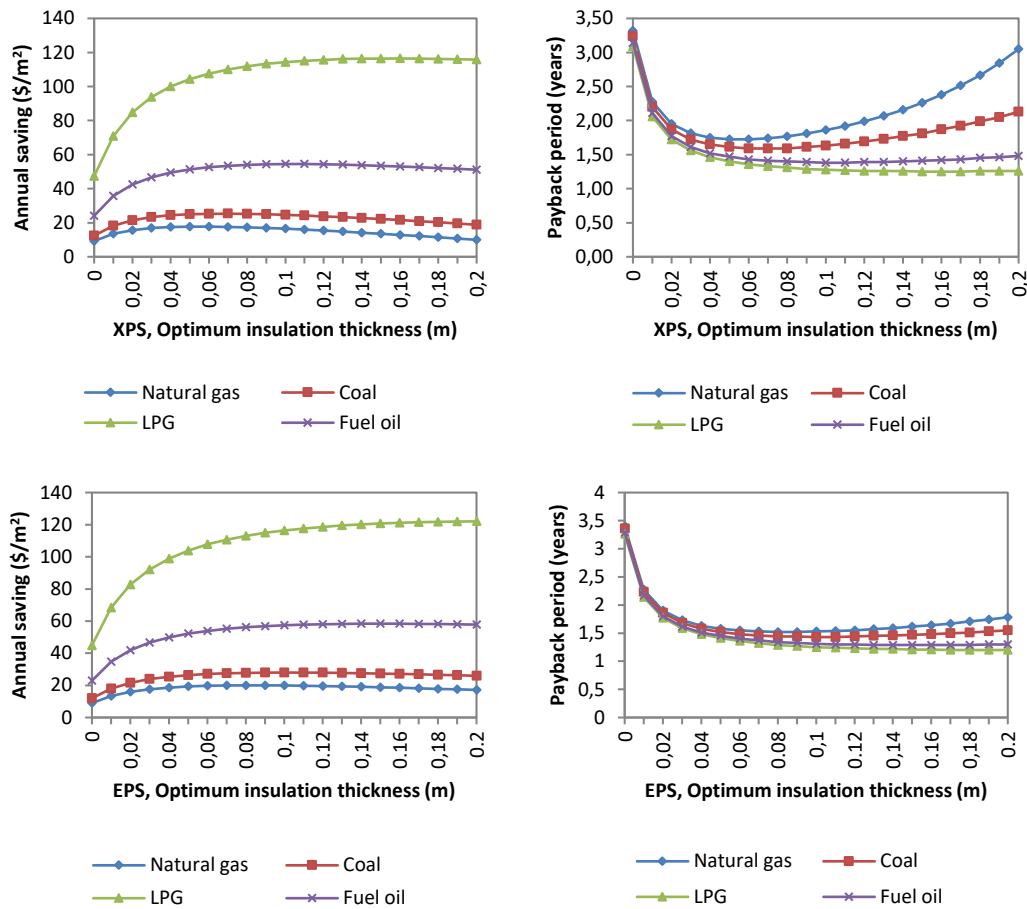


Figure 3. Annual savings and payback period versus on insulation thickness.

Table 5 shows the values recorded at the optimum point. The table shows the energy-saving amount calculated from the unit area and the payback time values when optimum insulation thickness was applied for various insulation materials and fuel types on the external walls. When the table is examined, the optimum insulation thickness differs based on the use of insulation materials (XPS and EPS) in heating (natural gas, coal, LPG and fuel oil) and cooling (electricity). As expected, the

highest saving and the shortest payback period were achieved in the same situation. The most savings and shortest repayment period were achieved when EPS and LPG were used in heating, while the lowest savings and longest repayment period were achieved when XPS and natural gas were used. In cooling, the most saving and the shortest payment period were achieved when using EPS insulation material. The payback period was more than 10 years when XPS was used for cooling.

Table 5. Optimum values, savings and payback period in heating and cooling.

Insulation material	Fuel	$x_{opt}$ (m)	Energy saving (\$/m <sup>2</sup> )	Payback period (years)
Heating				
XPS	Natural gas	0.065	17.75	1.72
	Coal	0.077	25.31	1.59
	LPG	0.167	116.49	1.25
	Fuel oil	0.114	54.47	1.38
EPS	Natural gas	0.094	20.01	1.52
	Coal	0.111	28.00	1.43
	LPG	0.233	122.00	1.20
	Fuel oil	0.161	58.38	1.29
Cooling				
XPS	Electricity	0.006	0.186	>10
EPS	Electricity	0.014	0.479	6.37

Figure 4 shows a comparison of annual savings per unit area. The figure shows the change in annual saving based on degree day value for different energy sources when XPS and

EPS insulation materials were used. As degree days, the amount of savings increased.

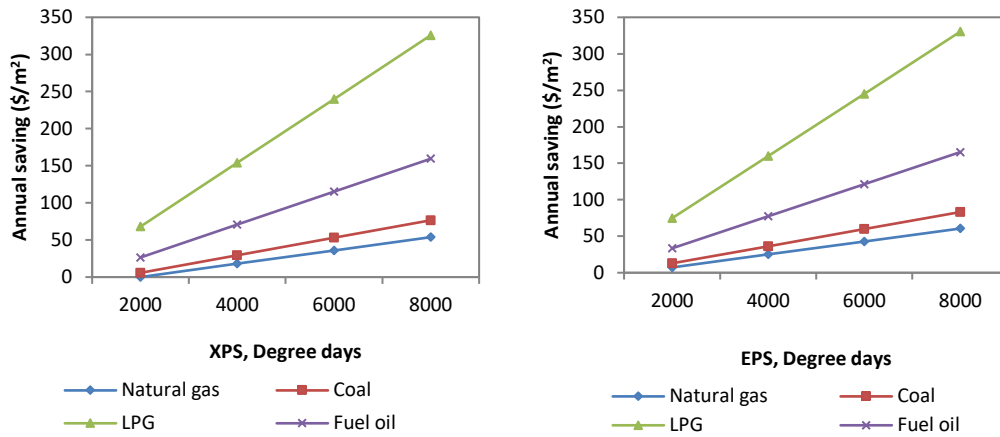


Figure 4. Annual savings versus degree days for different energy sources.

Figure 5 shows the annual fuel consumption in heating and changes in CO<sub>2</sub> based on the insulation thickness of gases. When insulation thickness increases, annual fuel consumption and emissions of gases released to the environment decrease.

Although this decrease differs very little according to the type of insulation material, it becomes horizontal after some point. It was observed that when insulation was applied, CO<sub>2</sub> rates could decrease by 80-90%.

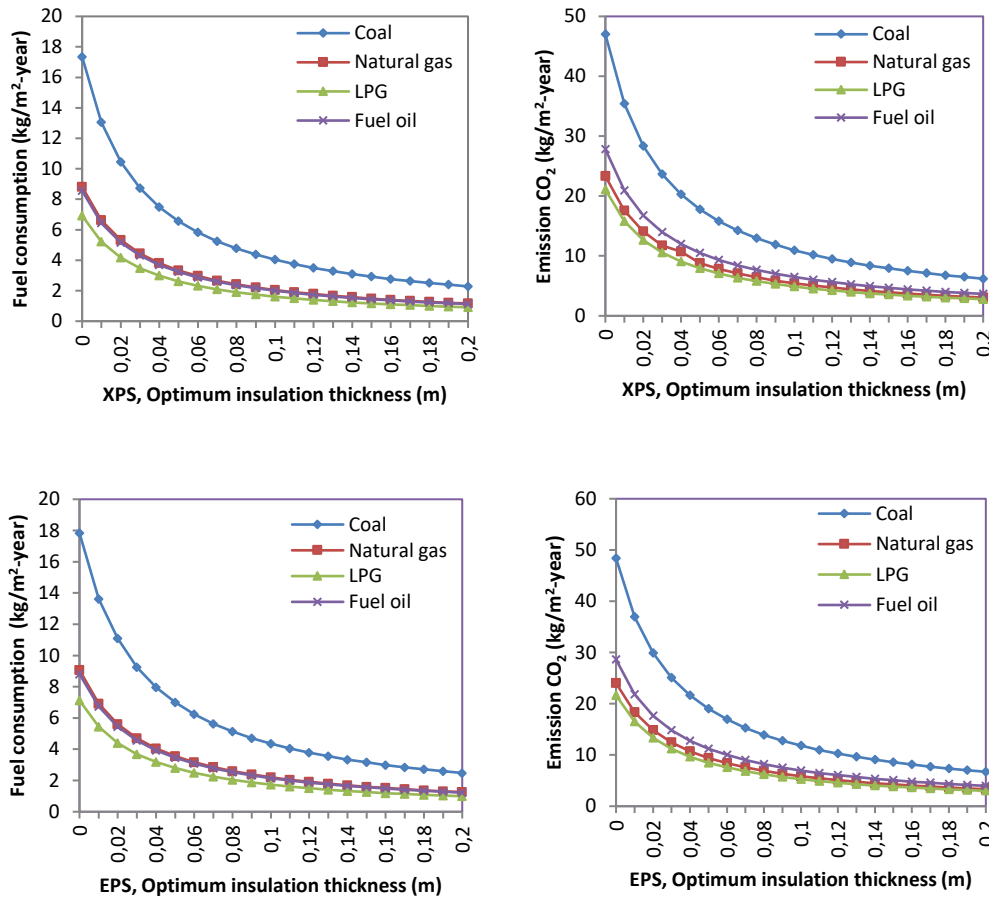


Figure 5. Fuel consumption and emissions.

The payback period is very short, even though it changes depending on the fuel and the insulation material of the insulation costs. The system amortises itself in a short time and contributes to less fuel use. This is very important in a period when the fuel and energy costs are increasing every day.

The saving amount obtained is higher when LPG is used as fuel because the energy cost required to heat a unit area for LPG is higher than other fuels. The amount of savings trend to increase with increasing optimum insulation thickness. The same trend has been observed in the previous literature (Küçüktopçu and Cemek, 2018).

#### 4. Conclusions and Recommendations

In parallel with population growth in Turkey, energy consumption is also increasing, and it is important that energy demand can be met from domestic sources. It is of great importance to use energy efficiently as well as meeting energy needs from domestic sources. Assessment of the potential for savings and reducing losses, especially in sectors where energy consumption is high, will reduce energy costs. Along with poultry farming being one of the industries growing rapidly in Turkey and the world, recently, the use of insulation systems in indoor farm areas to ensure proper physical conditions increases the quality and efficiency of production. In this study, optimum insulation thickness, energy-saving, and payback times were calculated on the outer walls of the buildings to ensure efficient use of energy in poultry sector buildings in Bandırma. The amount of savings and payback period vary between 17.75- 122 \$/m<sup>2</sup> and 1.72-1.20 years, respectively. It was calculated that a reduction by 80-90% in CO<sub>2</sub> emissions could be achieved when optimum insulation thickness was applied.

However, insulation is a whole not only with the exterior of the building, but also with the roof, terrace and window. For this reason, insulation should be applied by considering the whole building in accordance with the relevant regulations. If the insulation applications are not carried out in accordance with the rules specified in the regulations and standards, the energy consumption for heating and cooling is higher than expected. It is important that the applications are carried out by competent people and carefully supervised.

#### References

- Alsayed, MF., Tayeh, RA. (2019). Life cycle analysis for determining optimal insulation thickness in Palestinian buildings. *Journal of Building Engineering* 22, 101-112.
- Aritürk, E., Ergün, A., Yalçın, S. (1986). The relationship between poultry and environmental temperature. *Lalahan Zoot. Arast. Enst. Derg.* 26 (1-4) 42-52.
- Axaopoulos, I., Axaopoulos, P., Panayiotou, G., Kalogirou, S., Gelegenis, J. (2015). Optimal economic thickness of various insulation materials for different orientations of external walls considering the wind characteristics. *Energy* 90 939-952.
- Büyükalaca, O., Bulut, H., Yılmaz, T. (2001). Analysis of variable-base heating and cooling degree-days for Turkey. *Appl Energy*. 69(4): 269-83.
- Bolattürk, A. (2008). Optimum insulation thicknesses for building walls with respect to cooling and heating degree-hours in the warmest zone of Turkey. *Building and Environment* 43, 1055-1064.
- Christenson, M., Manz, H., Gyalistras, D. (2006). Climate warming impact on degree-days and building energy demand in Switzerland. *Energy Convers Manag* 47 (6):671-86.
- De Rosa, M., Bianco, V., Scarpa, F., Tagliafico, L.A. (2014). Heating and cooling building energy demand evaluation; a simplified model and a modified degree days approach. *Appl energy* 128:217-29.
- Eto, JH. (1988). On using degree-days to account for the effects of weather on annual energy use in Office building. *Energy Build* 12(2):113-27.
- Hasan, A. (1999). Optimizing insulation thickness for buildings using life cycle cost. *Applied Energy* 63(2), 115-124.
- Kaynaklı, O. (2008). A study on residential heating energy requirement and optimum insulation thickness. *Renewable Energy* 33, 1164-1172.
- Küçüktopçu, E., Cemek, B. (2018). A study on environmental impact of insulation thickness of poultry building walls. *Energy* 150, 583-590.
- Küreççi, NA. (2016). Determination of optimum insulation thickness for buildings walls by using heating and cooling degree-day values of all Turkey's provincial centers. *Energy and Buildings* 119, 197-213.
- Liu, X., Chen, Y., Ge, H., Fazio, P., Chena, G., Guoda, X. (2015). Determination of optimum insulation thickness for building walls with moisture transfer in hot summer and cold winter zone of China. *Energy and Buildings* 109, 361-368.
- Matzarakis, A., Balafoutis, C. (2004). Heating degree-days over Greece as an index of energy consumption. *Int J Climatol* 24(14):1817-28.
- Özdemir, E., Poyraz, Ö. (1997). Insulation of poultry houses, *Lalahan Zoot. Aras. Enst. Derg.* 37(2) 91-108.
- Rakshit, D., Muddu, D.M. Gowda, A.J. Robinson, A.B. (2021) Optimisation of retrofit wall insulation: An Irish case study. *Energy and Buildings* 235, 110720.
- Rosti, B., Omidvar, A., Monghasemi, N. (2020). Optimal insulation thickness of common classic and modern exterior walls in different climate zones of Iran. *Journal of Buildings Engineering* 27, 100954.
- Sabapathy, K.A., Gedupudi, S. (2020). On the influence of concrete-straw-plaster envelope thermal mass on the cooling and heating loads for different climatic zones of India. *Journal of Cleaner Production* 276, 123-117.
- Şişman, N., Kahya, E., Aras, N., Aras, H. (2007). Determination of optimum insulation thicknesses of the external walls and roof (ceiling) for Turkey' different degree-day regions. *Energy Policy* 35,5151-5155.
- Uçar, A., Balo, F. (2010). Determination of the energy savings and the optimum insulation thickness in the four different insulated exterior walls. *Renewable Energy* 35, 88-94.
- Uçar, A., Usame Dürmlü, M. (2019). Determination of optimum insulation thickness and energy saving analysis according to heating and cooling loads for exterior walls of a house in Malatya. *European Journal of Science and Technology* 16, 740-749.
- Internet,2019<http://www.canakkalegaz.com.tr/turkish>.
- Internet, 2020a; <http://www.dosider.org>, Fuel prices.
- Internet, 2020b; <http://www.izocam.com.tr>, Unit Prices.
- Internet, 2020c; The Central Bank of the Republic of Turkey (TCMB), <http://www.tcmb.gov.tr/>
- Internet, 2020d; Turkish Statistical Institute (TUIK), <http://www.tuik.gov.tr/>



# Reliability Based Analysis of a Pin Connected Truss using Random Field Finite Element Method (RFEM)

Gökhan Yazıcı<sup>1</sup>, Ahmet Can Mert<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> İstanbul Kültür University, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0002-6719-9152), [gokhanyazici@iku.edu.tr](mailto:gokhanyazici@iku.edu.tr)

<sup>2\*</sup> İstanbul Kültür University, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0002-2483-1330), [a.mert@iku.edu.tr](mailto:a.mert@iku.edu.tr)

(First received 30 April 2021 and in final form 21 November 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.)

**ATIF/REFERENCE:** Yazıcı, G., Mert, A.C. (2021). Reliability Based Analysis of a Pin Connected Truss using Random Field Finite Element Method. *European Journal of Science and Technology*, (27), 898-901.

## Abstract

Wood is an anisotropic structural material with highly variable mechanical properties. The mechanical properties of wood used in timber structures depend on several factors including biological origins, environmental conditions and manufacturing processes. Even the timber members from the same tree are prone to variations in their mechanical properties due to the presence of local defects such as knots and resin pockets. Therefore, the reliability assessment of timber structures needs to take into account the variability of the mechanical properties of timber members. In this study, Random Field Element Method (RFEM) was used to carry out the reliability assessment of a pin connected timber roof truss. The modulus of elasticity were selected as the random field variables for the timber members. Modelling and analysis of the timber truss was conducted using the ANSYS finite element analysis software. The impact of the variation of the mechanical properties of the timber members on the deflections of the truss system used in this study are presented in the conclusions.

**Keywords:** Random Field Finite Element Method (RFEM), Timber Structures, Reliability Assessment.

## Rastgele Alanlı Sonlu Elemanlar Analizi (RFEM) Kullanılarak Mafsallı Birleşimli Bir Ahşap Kafesin Güvenirliğe Dayalı Analizi

### Öz

Ahşap, mekanik özellikleri yüksek değişkenlik gösteren anizotrop bir yapısal malzemedir. Yapılarda kullanılan ahşap elemanlarda mekanik özellikler biyolojik köken, çevresel koşullar ve üretim sürecini içeren birçok etkene bağlıdır. Aynı ağaçtan elde edilen ahşap elemanlar dahi, boğumlar ve reçine kovukları gibi yerel kusurlardan ötürü mekanik özelliklerde değişkenlik eğilimindedir. Bu nedenle ahşap yapıların güvenilirlik değerlendirmelerinde, ahşap elemanlardaki mekanik özellik değişkenliğinin göz önüne alınması gerekmektedir. Çalışmada, rastgele alanlı sonlu elemanlar yöntemi (RFEM) kullanılarak mafsallı birleşimli bir ahşap kafesin güvenilirlik analizi yapılmıştır. Ahşap elemanların elastisite modülü rastgele alan olarak tanımlanmıştır. Kafes modeli ve analizler ANSYS sonlu elemanlar yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Ahşap elemanların mekanik özelliklerindeki değişimin kafes sistemindeki çökmelere etkisi kullanılarak sonuçlar sunulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Rastgele Alanlı Sonlu Elemanlar Yöntemi (RFEM), Ahşap Yapılar, Güvenirlik Değerlendirmesi.

\* Corresponding Author: [a.mert@iku.edu.tr](mailto:a.mert@iku.edu.tr)

## 1. Introduction

Wood is a widely used structural material with significantly variable mechanical properties. Since wood is orthotropic, the mechanical properties of wood are different in the longitudinal, transverse and radial directions (Larsen, 2001). The mechanical properties of wood used in timber structures depend on several factors including biological origins, environmental conditions, manufacturing processes and loading history. Experimental investigation of the mechanical properties for various species of solid raw and engineered wood members have been vigorously investigated and are widely available in the literature (Asdrubali et al., 2017; Sun et al., 2020).

By its nature, there are randomly distributed weak spots in wood members such as knots, grain deviations, compression wood, decay, bark and resin pockets. The segments of wood between these local defects are referred to as clear wood. Experimental studies for determining the mechanical properties are generally conducted on clear wood samples and the mechanical properties vary significantly between and within timber members due to the presence and distribution of weak zones through their length (Larsen, 2001). According to Wood Handbook (Forest Products Laboratory, 1999), the coefficients of variation (COV) for strength and modulus of Elasticity is approximately 20% for solid timber members. (Arwade et al., 2010).

## 2. Material Properties and Modelling

### 2.1. Mechanical Properties of Wood

Mechanical properties which are employed for truss model are presented in this section. All the properties except modulus of elasticity of wood (E) was taken as constants. E of wood was defined as spatially varying parameter by truss member. This variation was modelled by using random field theory having a correlation length equals to the truss member dimensions.

Poisson's ratio ( $\nu$ ) of wood was taken as 0.3 and the behaviour was assumed isotropic. Natural orthotropic behaviour of wood was not considered in the study since 2D truss deflections in plain-strain condition was not affected by the variation of orthotropic  $\nu$ . Young's Modulus of wood was assigned as spatially varying parameter with 13GPa mean and COV of 20%. Spatial distribution of E was modelled as Gaussian random field, and the parameter generation details were given in the following section.

### 2.2. Model Information

The model used in the analysis is a timber truss described by Blass et al. (1995). Span length is 22.5 m, and maximum height at mid-point is 3 m. Top chord has 10° slope, and there are seven vertical and ten diagonal members. The cross-section of upper, bottom chords, and intermediate members are 200 × 200, 200 × 160 and 160 × 160 mm<sup>2</sup>, respectively (Villar et al., 2016). The full geometry of the employed model is given in Figure 1.

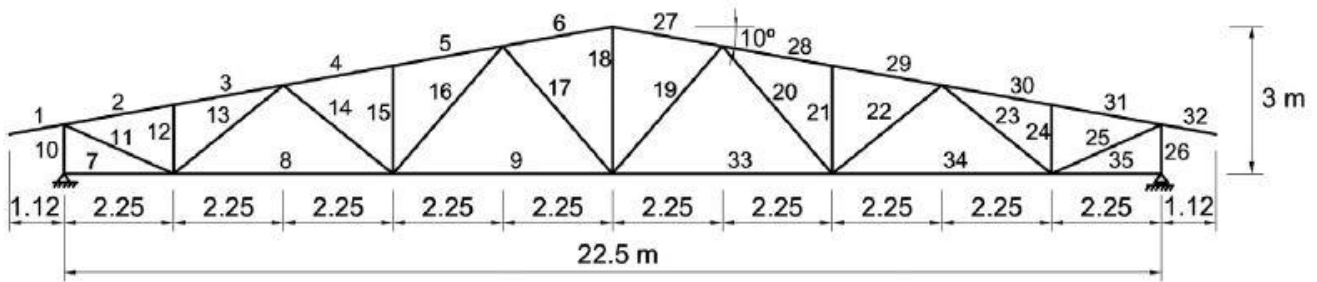


Figure 1. Timber truss model

Variation of the mechanical properties of wood within the members significantly complicates the assessment of the reliability of timber structures. In this study, Random Field Element Method (RFEM) was used to carry out the reliability assessment of a pin connected timber roof truss by considering the variation of mechanical properties within the members. The method is based on random field theory, which accounts for the variation of any random variable in space, is an efficient for uncertainty in one, two or three-dimensional spatial variation of material properties (Vanmarcke, 2010). RFEM requires definition of random field for the spatially varying parameter by correlation function  $\rho(\tau)$ . The parameter  $\tau$  represents the distance between random variables in the field. The correlation function also contains the main parameter for random field which is called scale of fluctuation or correlation length ( $\theta$ ), and is given for an exponential Markovian type as Equation 1:

$$\rho(\tau) = \exp\left(-\frac{2|\tau|}{\theta}\right) \quad (1)$$

In the present study, modulus of elasticity for wood was modelled as Gaussian random field with exponential correlation function as Equation 1.

Modelling was conducted in finite element software ANSYS. Loads were assigned both top and bottom chord joints. Each joint on the top chord was subjected to 25 kN vertical load, and bottom chord joints were loaded with 5 kN vertical force. The loading condition was selected provided that the deflection does not exceed 1/300 of the span.

### 2.3. Random Field Generation

Random field of E was generated by using MATLAB code with given mean and COV values. Random parameter was assumed as normally distributed. Correlation length of the field is selected so that the value equals to the member length. Thus, each member in the truss system has their own random E parameter. 1000 realizations were performed for the generated random field which means each member takes a thousand different E values having 13 GPa mean and 20% COV. By this method, the variation of rigidity due to any defects in the wood was taken into consideration. Figure 2 depicts a representative iteration with an arbitrary realization of E field assigned. The representation model

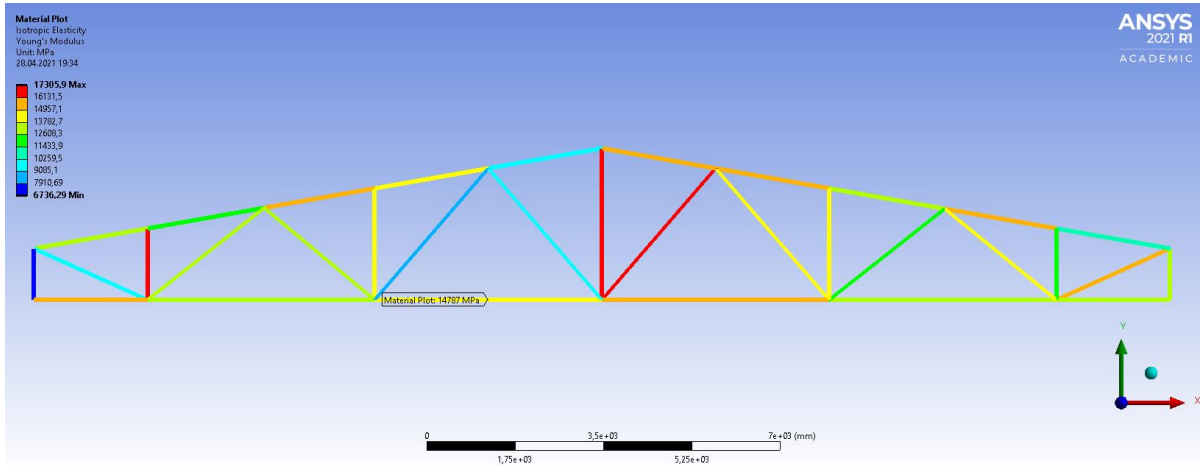


Figure 2. Representative E field assigned to the truss system

shows the case of truss system construction with the same wood material but having uncertain rigidity. E values vary between 6-17GPa even the mean value is 13 GPa. Each realization contains the similar variation in rigidity which constructs output probability distribution of deflections.

### 3. Methodology

The study aims to present the effect of rigidity variation in timber trusses. Initially, the deterministic output of deflection was obtained with constant E values as the mean 13 GPa. Spatial variation of E was then defined as random field by MATLAB code. Realizations of the field were consequently assigned into each member of the truss system in ANSYS. Finite element analyses were performed for each realization, and deflection output for each analysis iteration was recorded. 1000 realizations formed the output distribution of deflections, and a probability density function (PDF) with proper distribution was fitted to the histogram of the outputs. PDF of deflection was subsequently employed to compare the mean deflection with the deterministic result. Finally, statistical information of the output PDF was presented, and the effect of rigidity variation was investigated. Figure 3 presents the main framework of the method explained.

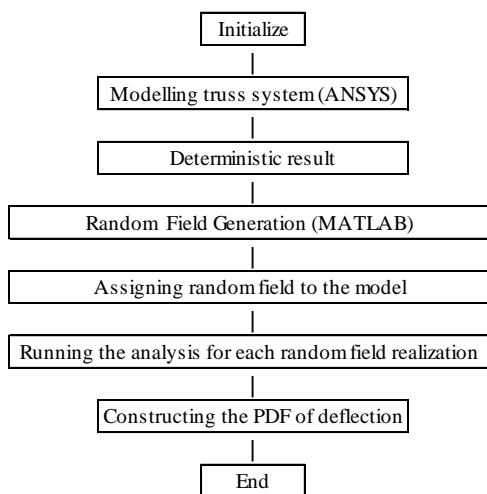


Figure 3. Flowchart of the method

### 4. Analysis Results

The first step was to perform deterministic analysis with the specified mean value of E (13GPa). All the parameters were constant, and the deflection of the mid-span was recorded. Maximum deflection for deterministic analysis was 38.04 mm, which was below 1/300 of the span length of 22.50 m (75.00 mm). Subsequently, RFEM model was analysed for each E field realizations in ANSYS. Output distribution of mid-span deflection was obtained, and the result fitted lognormal distribution. Mean of the distribution was 39.95 mm which differs from the deterministic result. However, range of the deflection values were within 33.68 mm and 55.81 mm, and the maximum values was approaching the deflection limit of 75 mm conforming that the variability of rigidity should be taken into consideration. Fitted PDF of the deflection limit is given in Figure 4 with mean value of the distribution and deterministic result to show the deviation.

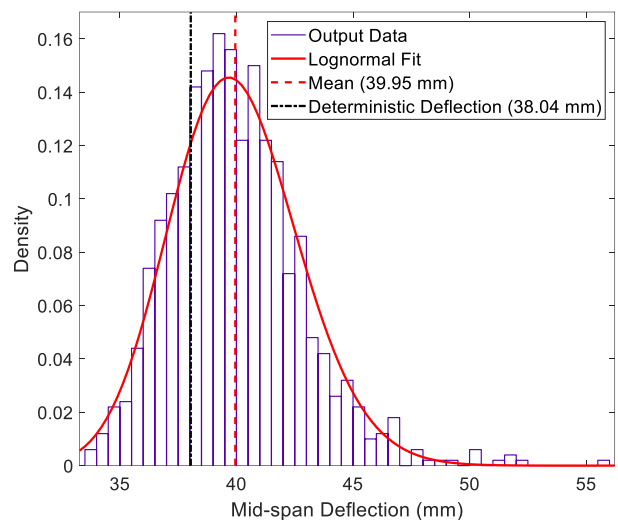


Figure 4. Output PDF of mid-span deflection on the truss

The response PDF depicts that the deterministic result may underestimate the deflection and it may cause misevaluation of the outputs. PDF can also be employed for probabilistic evaluation from which can be estimated probability of failure for a specified deflection limit. Proposed framework allows engineer

to judge the spatial variation of rigidity parameter and perform reliability assessment.

## 5. Conclusions and Recommendations

The results of the study revealed the necessity of spatial variability of wood rigidity in reliability assessment of pin-connected timber truss. Rigidity changes of the members from the same wood material due to any defects can be modelled by RFEM framework proposed in the present work. The coefficient of variation of the output probability distribution of mid-span deflection on the truss was found 7% which conforms that the value range may reach up to 56 mm which approaches the deflection limit (75 mm) for the given truss geometry. The mean value of the PDF validates that the deterministic analysis with constant E may underestimate the deflection. Therefore, the use of spatial variability of rigidity is recommended for reliability assessment of pin-connected timber trusses.

## References

- Arwade, S. R., Winans, R., Clouston, P. L. (2010). Variability of Compressive Strength of Parallel Strand Lumber. *Journal of Engineering Mechanics*, 136(4), 405-412.
- Asdrubali, F., Ferracuti, B., Lombardi, L., Guattari, C., Evangelisti, L., Grazieschi, G. (2017). A review of structural, thermo-physical, acoustical, and environmental properties of wooden materials for building applications. *Building and Environment*, 14, 307-332.
- Blass, H. J., Aune, P., Choo, B. S., Grolacher, R., Griffiths, D. R., Hilson, B. O., Racher, P., Steck, G. (1995). *Timber engineering STEP2. Design-Details and structural systems*. Almere, The Netherlands: The Centrum Hout.
- Forest Products Laboratory. (1999). *Wood Handbook: Wood as an Engineering Material*. USDA, Madison, Wisconsin.
- Larsen, H. J. & BYG (2001). *Properties affecting reliability design of timber structures*. COSTE24 Seminar on Reliability of timber structures, Coimbra, Portugal, May 4-5, 2001.
- Sun, X., He, M., Li, Z. (2020). Novel engineered wood and bamboo composites for structural applications: State-of-art of manufacturing technology and mechanical performance evaluation. *Construction and Building Materials*, 249, 1-23.
- Vanmarcke, E. (2010). *Random fields: Analysis and synthesis*. New Jersey, USA: World Scientific.
- Villar, J. R., Vidal, P., Fernandez, M S., Guaita, M. (2016). Genetic algorithm optimisation of heavy timber trusses with dowel joints according to Eurocode 5. *Biosystems Engineering*, 144, 115-132.



## Besin Alerjileri ve Mikrobiyota

Jale Çatak<sup>1\*</sup>, Ayşenur Demirci<sup>2</sup>, Mustafa Yaman<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: 0000-0002-2665-6927),

[dvt.aysenurdemirci@gmail.com](mailto:dvt.aysenurdemirci@gmail.com)

<sup>3</sup> İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0001-9692-0204),

[mustafa.yaman@izu.edu.tr](mailto:mustafa.yaman@izu.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 4 Mayıs 2021 ve Kabul Tarihi 9 Kasım 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.932606)

**ATIF/REFERENCE:** Çatak, J., Demirci, A. & Yaman, M. (2021). Besin Alerjileri ve Mikrobiyota. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (27), 902-910.

### Öz

Ülkemizde ve dünyada son yıllarda besin alerjilerinin yaygınlığında artış gözlenmektedir. Ülkelerin beslenme kültürlerine bağlı olarak alerjen besin maddelerinde değişiklik olsa da, çoğunlukla sekiz besin alerjiye sebebiyet vermektedir. Besin alerjileri IgE aracılı olduğu gibi IgE aracılı olmayan mikst tip reaksiyonlar ile de gerçekleşmektedir. IgE kaynaklı reaksiyonlar yaşamı tehdit edebilen önemli bir halk sağlığı sorunudur. Süt çocuklarında besin alerjilerine neden olan faktörlere bakıldığında, ailede atopi öyküsünün olmasının yanı sıra, çevresel maruziyetler, mikrobiyotanın çeşitliliği, miktarı ve dengesinde meydana gelen değişikliklerin tetiklediği düşünülmektedir. Besin alerjilerin önlenmesi veya seyrinin hafifletilmesinde mikrobiyotanın gelecek vaat ettiği düşünülmektedir. Bu derlemede bağırsak mikrobiyotası ile besin alerjileri arasındaki ilişkiye yönelik bir literatür çalışması yapılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** IgE-Aracılı Besin Alerjileri, Bağırsak Mikrobiyotası, Probiyotikler, Tanı Testleri.

## Food Allergies and Microbiota

### Abstract

The prevalence of food allergies in our country and the world has increased in recent years. Although there are changes in allergen nutrients depending on the nutritional cultures of the countries, mostly eight foods cause allergies. Food allergies occur with IgE-mediated as well as non-IgE-mediated mixed-type reactions. IgE-induced reactions are an important public health problem that can be life-threatening. Considering the factors that cause food allergies, it is thought that besides the family history of atopy, environmental exposures, changes in the variety, amount, and balance of the microbiota are triggered. Microbiota is believed to have a promise in preventing or alleviating the course of food allergies. In this review, a literature study was conducted on the relationship between intestinal microbiota and food allergies.

**Keywords:** IgE-Mediated Food Allergies, Intestinal Microbiota, Probiotics, Diagnostic Tests.

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



## 1. Giriş

Besin alerjisi ilk olarak M.Ö. 100. yılda Lucretus tarafından besin tüketiminin ardından gelişen istenmeyen reaksiyonlar olarak tanımlanmıştır (Akoğlu ve Oruç, 2018). Besin maddelerine karşı oluşan ters reaksiyon, gıdanın alımından sonra ortaya çıkan herhangi bir anormal reaksiyondur (Sampson ve Burks, 2009). Tarihte 2000 yıldan daha uzun süredir, besin alerjilerine yönelik çalışmalar yapılmıştır. Besin alerjilerine yönelik ilk tanımlamalardan birini ilk olarak Hipokrat yapmıştır. Bundan 2000 yıl önce Hipokrat inek sütüne karşı olumsuz reaksiyonların olduğunu belirtmiştir. 1921'de ise Prausnitz ve Kustner ilk kez balık alerjisi reaksiyonunu tanımlamıştır (Özçeker ve Tamay, 2015; Boyce ve ark., 2011).

Besin alerjileri veya intoleransları beslenme kaynaklı görülen sağlık problemlerinin başında gelmektedir (Loh ve Tang, 2018). Ülkemizde 15 yaş ve üstü bireylerde en çok görülen hastalık türleri incelendiğinde %10,8 ile atopik hastalar yer alır (Türkiye İstatistik Kurumu, 2016). Besinlere karşı geliştirilen reaksiyonlar immunolojik reaksiyonlar ve immunolojik olmayan reaksiyonlar olarak ikiye ayrılır. Besin intoleransı; besinin bileşenlerine karşı gösterilen hassasiyet olarak tanımlanır. Farmakolojik, toksik, metabolik ve tanımlanmayan mekanizmaların intolerans gelişimine neden olduğu düşünülür. İntoleransta vücudun savunma sistemi devreye girmez. Besin intoleransları, gastrointestinal sistemde (GİS) fonksiyon bozuklukları oluşturarak belirtiler verebilmektedir. Semptomlar tüketilen besin miktarına bağlı olmakla birlikte yavaş gelişir ve tehlikeli değildir. Besin alerjileri ise immün sistem aracılığıyla besinlere karşı gösterilen hipersensitivite reaksiyonları olarak tanımlanır. Antijen özellik gösteren besinin sindirilmesinden sonra immünolojik olarak tetiklenen semptomların gelişimini ifade eder (Özcan ve ark., 2015).

Epidemiyolojik çalışmalar coğrafi bölgeye, yaşa ve çalışma metodolojilerine göre değişkenlik gösterse de genel bir sonuç olarak besin alerjisinin dünya genelinde yaygınlığında bir artış söz konusudur (De Martinis ve ark., 2020). Dünyada olduğu gibi ülkemizde de son yıllarda alerjik hastalıklarda artışlar vardır. Besin alerjilerinin ülkemizdeki sıklığının saptanması, risk altındaki bireylerin saptanması, gıda güvenliğinin sağlanması, toplumun bilinçlendirilmesi ve koruyucu önlemlerin alınması gerekmektedir (Kvenshagen ve ark., 2009).

En yaygın görülen besin alerjileri arasında inek sütü, tavuk yumurtası, yer fıstığı, ağaç yemişleri, soya, buğday, balık, kabuklu deniz ürünleri yer alır (Lopes ve Sicherer, 2020; Seth ve ark., 2020).

Besin alerjilerinin tedavilerinde eliminasyon diyetleri ve oral immünoterapiler yer almaktadır. (Szépfalusi ve ark., 2015). Son yıllarda yapılan çalışmalarda, mikrobiyotanın besin alerjilerinin gelişiminin önlenmesinde ve seyrinde yararlı etkileri olduğu bildirilmiştir (Molloy ve ark., 2013).

## 2. Besin Alerjileri

Besin alerjisi, vücuda alınan besinlere immünolojik mekanizmalar aracılığı ile gösterilen besinlere karşı oluşan istenmeyen reaksiyonlardır (Begen ve ark., 2017; Johansson ve ark., 2004; Koca ve Akçam, 2015). Alerji; vücut için alerjen olan inorganik veya organik maddelerin tüketilmesi, solunması, deriyle doğrudan temas yollarıyla karşılaşması sonucu organizmanın savunma mekanizmasının aşırı çalışma halidir

(Sicherer ve Sampson, 2018). Alerjen besin maddesi ile karşılaşılması sonucu gösterilen aşırı duyarlılık reaksiyonları; savunma sisteminin önemli bir parçası olan immünoglobulin E (IgE) aracılığıyla, T hücreleri aracılığıyla (IgE aracılı olmayan) veya hem IgE aracılı hem de hücre aracılı olan mikst reaksiyonları kapsamaktadır (Begen ve ark., 2017; Öztürk ve Besler, 2012). Bağışıklık sistemi, gıda alerjilerinde, gıda içerisindeki belirli bir maddeye özel olarak ya da bir katkı maddesine karşı antikor üretmek reaksiyon göstermektedir (Tokuç, 2017). Besinlere karşı gelişen reaksiyonların sınıflandırılması Şekil 1' de gösterilmiştir.

Duyarlı bir kişi, alerjen ile karşılaştığında dermatit bulgu, kaşıntı, burun tıkanıklığı, GİS sistemde rahatsızlıklar, kızarıklık, şişlik, nefes almada zorluk ve anafilaksi gibi klinik tablolar ortaya çıkar (Öztürk ve Besler, 2012). Anafilaktik şok ciddi ve hayatı tehdit eden reaksiyonlar arasındadır (Gübür, 2012).

### 2.1. Epidemiyolojisi

Besin alerjilerinin görülme insidansı dünya genelinde son on yılda önemli bir artış göstermiştir (Loh ve Tang, 2018). İnsidanda olan bu artışın belirlenmesi farklı nedenlerle zor olmaktadır (Lopes ve Sicherer, 2020). Ülkemizde bölgelere göre dağılımına bakıldığında, Marmara ve Ege bölgesinde daha çok süt alerjisi görülürken, Karadeniz, Akdeniz, İç Anadolu ve Doğu Anadolu Bölgelerinde ise yumurta alerjisinin sıklığı daha yüksek bulunmuştur. Bölgeler arası görülen farklılıkların sebebi, toplumun beslenme alışkanlıklarından ve pişirme/işleme yöntemlerinin farklılığından kaynaklanmaktadır (Akay ve Yılmaz 2020; Paykoç, 2017; Sicherer ve Sampson 2018).

Çünkü yaygınlık oranlarının tahminleri toplumların beslenme alışkanlıklarına, coğrafi konumlarına, yaş gruplarına ve uygulanan çalışma yöntemlerine göre değişmektedir. Ancak genel bir sonuç alerji prevalansında artış olduğudur (Loh ve Tang, 2018).

Bu ciddi artışın nedenlerinden bazıları, genetik olarak duyarlı kişilerin modern yaşam tarzı ve besin seçimleri olarak bildirilmiştir. (Lopes ve Sicherer, 2020). Nüfusa dayalı olarak yapılan epidemiyolojik çalışmalarda; obezite, anne ve bebek beslenme bileşenleri, ek gıdaya başlama zamanı, hijyen hipotezi gibi faktörlere bağlı olarak alerjilerin görülmesinde riskler oluşabildiğini göstermektedir (Sicherer ve Sampson, 2018).

Gıda alerjisinin bir halk sağlığı sorunu olduğu ve yaklaşık 6 milyon çocuğun bu durumdan etkilendiği bildirilmiştir (Kadıoğlu, 2017). Yaşa göre besin alerjisi prevalansına bakıldığında, bebeklerde ve çocuklarda %3,9- %8, yetişkinlerde ise %6,6 - %10 aralığında saptanmıştır (Epöztürk, 2021). Dünya genelinde ülkelerde en çok rastlan alerjen besinler; Türkiye'de fındık, Amerika Birleşik Devletleri ve İsviçre'de yer fıstığı, İsrail'de susam, Kore'de ceviz ve İspanya'da ağaç yemişleridir (Lee, 2017; Sackesen, 2019).

### 2.2. Patofizyolojisi

Kanda, kendine özgü antikor oluşturup, alerjik reaksiyonlar gelişmesine neden olan maddelere alerjen denir (Öztürk ve Besler, 2012; Yürük, 2020). Alerjen maddelere çeşitli yollardan maruz kalınabilir. Alerjen maddelerin vücuda alım miktarına karşı tolerans gösterme oranı kişiden kişiye farklılık gösterir (Türkiye Ulusal Alerji ve Klinik İmmunoloji Derneği, 2021). Besin alerjileri, genetik olarak yatkın bireylerde immün sistemin farklılaşması, mukozal bariyerin tam fonksiyon görememesi veya oral toleransın bozulması sonucunda oluşur (Keet ve Wood, 2011). Bunun sonucu olarak patojenlere karşı savunma sırasında

kullanılan dendritik hücreler aktive edilerek enflamatuar sitokinler salgınlr. Besin protein antijenine karşı gelişen, immün sistemin anormal bir yanıtı olarak tanımlanmaktadır (Anvari ve ark., 2019) IgE aracılı ve IgE aracılı olmayan ve mikst tipleri vardır. En tehlikeli klinik tablolar IgE aracılı olan tipinde görülür (Boyce ve ark., 2011, Dyer ve Gupta, 2013).

### 2.2.1. Bağırsak Bariyeri

GİS, tek katlı silindirik epitel hücreleri arasında sıkı bağları sayesinde bir bariyer olarak fonksiyon görür ve antijenik özelliklere sahip protein ve büyük makro moleküllerin geçişine engel olur. Gastrointestinal mukozal bariyer fiziksel (sıkı epitel hücre aralıkları, mukus, asitler ve enzimler) immünolojik kompleks bir yapıya sahiptir. Böylece non-immünolojik mekanizmasının besin alerjisi gelişimini önlemede olduğu düşünülmektedir.

Besin alerjisi gelişimini engellemede gastrointestinal sistem de görevli immun sistem komponentleri doğal immun sistem elemanları (makrofajlar, Toll like reseptörler, polimorfonükleer lökositler, epitel hücreleri, doğal öldürücü hücreler) ve kazanılmış immun sistem elemanları (intraepitelyal lenfositler, lamina propriada yerleşik lenfositler, Peyer plakları, sitokinler ve antijen spesifik sekretuar immünooglobulin A) yer alır. Bariyer fonksiyonunda bozulma ve mide pH'sının nötralizasyonu besin alerjisinin gelişimine yardımcı olabilir. Benzer şekilde, mukozal bariyerin, enzimatik aktivitenin ve sekretuar IgA savunma sisteminin tamamen olgunlaşmamasının bebeklikte artmış besin alerjisinin görülme sıklığının artmasında sorumlu olduğu düşünülmektedir (Bayram, 2011; Sampson ve ark., 2009).

### 2.2.2. Oral Tolerans

Gastrointestinal sistem yüzeyini kaplayan epitellerin altındaki gevşek bağ dokusunda lenfosit ve antijen hücreler yer alır. İntestinal yüzeyde besinin proteine maruz kalmasına rağmen az sayıda bireyde besin alerjisi görülür. Bu durum oral tolerans geliştirmesine bağlıdır (Johnston ve ark., 2014). Besin hipersensitivite reaksiyonlarının engellenmesinde oral tolerans çok önemlidir (Satitsuksanoa ve ark., 2018).

## 2.3. Alerjen Besin Maddeleri

NIAID (National Institute of Allergy and Infectious Diseases) tarafından yayınlanan bir raporda çok sayıda (170 adet) besinin alerjik olabileceği bildirilmiştir. Yapılan prevalans çalışmalarında alerjik reaksiyonlara en sık neden olan besinler ortaya koyulmuştur (Nwaru ve ark., 2014). Bu besinler “süt (%6), yumurta (%2,5), fıstık (%0,4), soya (%1,5), buğday (%1,5), balık (%2,2) ve kabuklu deniz ürünleridir (%2,2)” (Prescott ve ark., 2013). EAACI'nin (Avrupa Alerji ve Klinik İmmünoloji Akademisi) besin alerjisi için yayınlamış olduğu rehberde besin alerjisinin yetişkinlerde %5,1, çocuklarda %6,9 görüldüğü bildirilmiştir (Demir ve Ulusoy, 2017). Çocukluk döneminde ortaya çıkan besin alerjileri, buğday, süt, yumurta, soya ve fıstık alerjisi iken; yaşamın herhangi bir döneminde ortaya çıkabilen

besin alerjileri, kuruyemiş, balık ve deniz ürünleridir (Faber ve ark., 2018).

Sebze ve meyvelere karşı görülen alerjilerin klinik tablosu daha hafif seyredir ve daha az görülür. Meyve ve sebzeler başta olmak üzere, besinlerin ham veya çiğ olarak tüketilmesi alerjik reaksiyonun gelişimini hızlandırabilirken, iyi piştiğinde alerjik reaksiyon durumu değişebilmektedir (Ho ve ark., 2014).

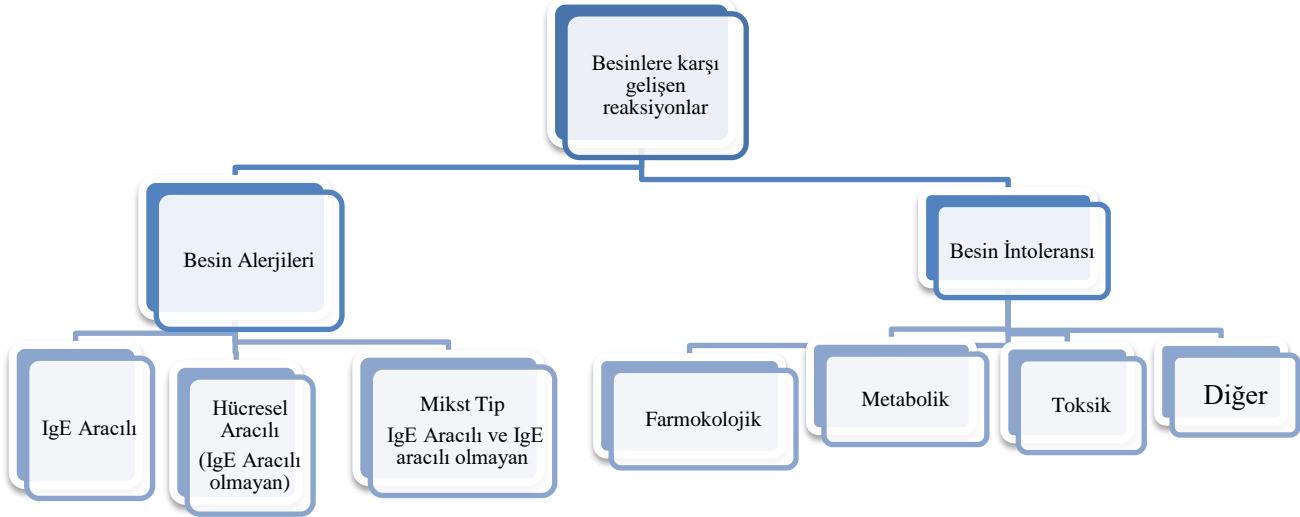
Isıl işlem uygulaması, besinlerin peptit bağlarının hidrolize olmasına, disülfid bağlarının yeniden yapılanmasına, denatürasyona ve başka bileşenler (lipit, karbonhidrat vb.) ile reaksiyona girmesine neden olmaktadır. Isıya bağlı olarak antijen değişimi; uygulanan sıcaklık derecesine ve süresine, proteinlerin yapısal özelliklerine ve bulunduğu ortamın fizikokimyasal özelliklerine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Isıl işlem, aminoasitler ve karbonhidratların, Maillard reaksiyonu gibi çeşitli reaksiyonlara girmesine sebep olmaktadır. Bu durum konformasyonel epitoplarnı değiştirebilmekte, yeni IgE bağlanma bölgeleri oluşturabilmektedir. Isıl işlem uygulaması, alerjenik yapıyı azaltmakta veya önceden mevcut olmayan bölgeleri açığa çıkararak alerjenik yapının artmasına neden olabilmektedir (Özcan ve ark., 2015; Güzelsoy, 2021).

Alerjen olan besinler dışında dikkat edilmesi gereken diğer bir nokta alerjen besinin başka besin ile olan çapraz reaksiyonudur (Faber ve ark., 2018). Çapraz reaktif besin alerjileri; lateks, huş ağacı poleni, profilinler nedeniyle gelişir (Tokuç, 2017). Polen alerjileri, bitkisel besinler ile alerji gelişimine sebep olur (Floch ve Narayan, 2002).

### 2.3.1. Çapraz Reaktif Gıda Alerjenleri

IgE-aracılı besin alerjenleri genellikle 2 yolla oluşur. Kişi GİS yolla primer olarak o besine karşı duyarlıdır veya kişi daha önce genellikle bitki kökenli polenlere karşı primer olarak duyarlıdır. Daha sonra ortak çapraz reaksiyon veren antijenik protein yapıları nedeniyle taze sebze ve meyvelere karşı sekonder olarak semptomlar ortaya çıkar (Yıldız, 2021).

Besin alerjilerinin doğal seyri ve besin alerjenleri ile çapraz reaksiyonlar Tablo 1' de verilmiştir. Yumurta, süt ve soya gibi besinlere ait alerjik reaksiyonlar genellikle 1-2 yaşından sonra geçebilir. Fındık, yer fıstığı, balık ve kabuklu deniz ürünlerine karşı oluşan reaksiyonlar ise yaşam boyu devam edebilir (Muraro ve ark., 2014). Süt alerjisi olan çocukların %20' sinde dana eti alerjisi, dana etine alerjisi olan çocuklarda da süt alerjisi görülmektedir. İnek sütü alerjisi olanların büyük çoğunluğu (%90), keçi, manda ve koyun sütlerine karşı da reaksiyon gösterirler. Aynı şekilde tavuk yumurtasına alerjisi olan bir kişinin diğer yumurta türlerine alerji gösterme olasılığı yüksektir. Kabuklu yemişler, deniz ürünleri ve tahıllar kendi aralarında değişen oranda çapraz reaksiyon gösterebilirler (Yazıcı ve Özkaya, 2020). Alerji testlerinde, bir besine klinik olarak bulgu olmaksızın test sonucunda alerjik çıkabilir. Bu durum çapraz reaksiyon ile alakalıdır (Demir, 2019).



Şekil 1. Besinlere Karşı Gelişen Reaksiyonların Sınıflandırılması (Akbulut, 2016).

## 2.4. Besin Alerji Testleri

Besin alerjilerinin tespitinde hastanın şikâyetleri ve semptomları göz önüne alınarak yapılacak teste karar verilir. Klinikte kullanılan alerji testleri temel olarak *in vivo* ve *in vitro* testler olarak ikiye ayrılır (Akan A. (2016). Yaygın olarak kullanılan testler; Deri Prick Testi (DPT), Atopi Yama Testi, RAST Test (Spesifik IgE Tayini), İntradermal Deri Testleri, İntragastral Provokasyon Testi, Endoskopi ve Histoloji, bağırsak mukozası biyopsisi tanıma kullanılan laboratuvar testleridir. Laboratuvar testlerinin dışında tanıyı sağlamak için besin eliminasyon diyetleri ve oral besin yükleme testi uygulayarak tanının daha doğru konulmasını sağlar (Özçelik, 2019; Akbulut, 2016).

Son zamanlarda besin alerjisi tanısında mide suyu analizi, bazofil histamin salınım testi, endoskopik alerjen provokasyonu, lenfosit stimülasyon testi, mediatör salınım testi kinesiyoji testi, fasiyal termografi, saç analizi, elektrodermal test (Vepa), sitotoksitesite testleri gibi çeşitli yöntemler de kullanılmaktadır (Köken, 2019). Besin intoleranslarını belirlemede; ALCAT, LEAP MRT, ELISA, MICROARRAY-ELISA testleri uygulanmaktadır. Bilimsel değeri olmayan birçok ticari testin yaygın olarak kullanımı mevcuttur. Bu testler tutarsız sonuçlar verebildiği için güvenilir değildir.

## 2.5. Besin Alerji Tedavi Yöntemleri

Besin alerji tedavisinde, temel olarak ilk uygulanan basamak tıbbi beslenme tedavisidir. Tıbbi beslenme tedavisi eliminasyon diyetlerine dayanmaktadır. Eliminasyon diyetleri alerjen besin maddelerinin diyetten çıkarılması esasına dayanır. Hasta veya hastadan sorumlu kişiler, alerjen besin maddesi, alerjen besin maddesi ile çapraz reaktiviteye sahip besinler ve alerjen besin maddesinin bulunma ihtimali olan paketlenmiş ürünlerin etiketlerinin okunması konusunda bilgilendirilmelidir. Diyetten elimine edilen besin maddelerinin yerine alternatif besinler belirlenerek diyet oluşturulmalıdır. Hastalar izlenerek makrobesinler ve mikrobesinler değerlendirilmeli ve eksik görülen besinler, farklı besin veya besin takviyeleriyle giderilmelidir. Tıbbi beslenme tedavisi haricinde, bağırsak bariyerinin güçlendirilmesi ve probiyotikler ile desteklenmesinin

hastalığın seyri konusunda katkı sağladığı bildirilmiştir (Frith ve Katelaris, 2019; Krogulska ve Wood, 2020; Akyüz, 2018).

## 2.6. Besin Alerjilerinin Olası Gelişim Nedenler

Atopi oluşumunda, kalıtım ve çevresel etmenler rol oynamaktadır. Yapılan çalışmalarda atopik bireyin, ebeveynlerinin her ikisi de alerjikse çocuğun alerjik olma olasılığı %67'dir, ebeveynlerin biri alerjikse bu oran %33'e düşmektedir. Duyarlanmanın nasıl ve ne zaman ortaya çıktığı halen araştırılmaktadır. Duyarlanmanın anne karnında başlayabileceği gibi; doğum yolu, tamamlayıcı beslenmeye geçiş zamanı, emzirme süresi, fazla hijyenik ortamda büyüme ve disbiyozis gibi çeşitli etmenlerle ilişkisi bildirilmiştir (Shroba ve ark., 2019; Canani ve ark., 2015).

## 3. Alerji ve Mikrobiyota

Besin alerjisi, besinlere karşı immun sistem aracılığıyla gösterilen anormal bağışıklık yanıtı olarak tanımlanır. Mikrobiyota ile mikrobiyomun aynı anlama geldiği düşünülmektedir veya ikisinin anlamı birbiriyle karıştırılmaktadır. Mikrobiyota, vücudun farklı bölgelerinde bulunan mikroorganizma popülasyonlarını (cilt mikrobiyotası, bağırsak mikrobiyotası vb.) ifade ederken mikrobiyom ise, vücutta yaşayan bütün mikroorganizmalar ve onların genetik materyalini ifade eder (Khanna ve Tosh, 2014). Mikroorganizmalar, insan vücudunda gastrointestinal sistem, ürogenital sistem, orofaringeal alan, hava yolları, deri, kan ve gözlerde lokalize olmuştur. Gastrointestinal mikrobiyomun, koruyucu, metabolik ve yapısal faydaları vardır.

Mikrobiyotanın ise, konakçıda immün yanıtın olgunlaşması ve patojenlerden korunması gibi faydaları vardır. Yapılan çalışmalarda, mikrobiyotanın alerjik hastalıklar, çölyak, obezite ve Tip 1 diyabet gibi hastalıklarının gelişiminde etkisi olduğu düşünülür. Mikrobiyotadaki bakterilerin içeriğinin ve miktarının değişerek dengenin bozulması durumuna disbiyozis denir. Disbiyozis, bağırsak bariyerinin fonksiyonunu, bazofilleri ve Tip 2 bağışıklığın modülasyonunu etkileyerek alerjik yanıt oluşumuna neden olmaktadır (Johnson ve Ownby, 2017; Zhao ve

ark., 2019; Berni ve ark., 2019; Kalip ve Atak, 2018; Kurtaran 2021). Yenidoğan ve bebeklik döneminde besin alerjisinde mikrobiyal değişikliği inceleyen bir araştırmada, süt alerjisine sahip bebeklerde *Lactobacilli* miktarları daha yüksek, *Enterobacteria* ve *Bifidobacteria* miktarları ise daha düşük düzeylerde bulunmuştur (Thompson-Chagoyan ve ark., 2010).

### 3.1. Hijyen Hipotezi

1989 yılında ortaya çıkan hijyen hipotezine göre, mikroorganizmalarla temasın azalması şehirleşme ve doğadan uzak kalınmasının, buna bağlı olarak alerjik hastalıkların prevalansının artmasında etken olduğu düşünülmektedir (Strachan, 1989). İmmun sistem hücreleri anne karnından itibaren ve doğum yoluyla oluşmaya başlar. Sezeryan ile olan doğan bebeklerin normal doğan bebeklere göre mikrobiyal maruziyetleri azaldığı için alerji gelişme riski 7 kat daha fazladır (Iweala ve ark., 2016).

T hücreleri 1 (Th1) viral enfeksiyonlar tarafından uyarılır. Hava yolu ile bulaşan virüsler ve GIS enfeksiyonları, immün sistemin antijenle karşılaşma ve cevap oluşturmalarını artırdığı için alerji gelişim riskini azaltır. Viral antijenler ile erken yaşta karşılaşmadığında Th1 baskılanır ve Th2 dengesi kurulamaz. Mikrobiyal floranın olmayışı veya az olması durumunda Th1 ve Th2 dengesinde bozulma olur (Ekinci, 2015). Th1/Th2 dengesi çevresel faktörlerden etkilenir. Her iki hücrenin de saldırdığı sitokinler bir diğerini etkilemektedir (Yıldızdaş, 2016).

Th2 yönüne eğiliminin devam etmesi ileride atopik/alerjik hastalıklara sebep olabilir. Günümüzde aşırı antibiyotik ilaçların kullanımı, fazla hijyenik bir ortamda büyümek ve gelişmiş ve zenginleşmiş ülkelerde beslenme değişiklikleri sonucunda çocukların mikroplarla erken yaşta temaslarının azalması bu duruma katkı yapan nedenlerin başında gelmektedir (Hornig, 2013). Bir makaleye göre perinatal dönemde oluşan mikrobiyota çeşitliliği natürel killer T lenfositler üzerinde ömür boyu devam eden bir etki meydana getirebilmektedir (Olszak ve ark., 2012). Çocuk ve erişkinlerde alerjik hastalıklarda günümüzdeki bu artışın özellikle sanayileşmiş ülkelerde daha sık rastlanma nedeninin, süt çocuğunun bağırsaktaki yerel ve dolaylı olarak sistemik bağışıklık sisteminin mikrobiyal uyarılmasının azlığı ile ilişkilendirilmektedir ve bu durumun tipik Batı'lı yaşam tarzından gelen abartılı hijyene bağlı olduğu sanılmaktadır (Cabana, 2007). Son yıllarda gelişmiş batı ülkelerinde yapılan çalışmalar, atopik hastalıkların insidans ve prevalansında önemli bir artış olduğunu göstermektedir (Zeyrek ve Zeyrek, 2006).

### 3.2. Çocuk Yaşta Geçirilen Enfeksiyonlar

Sitopatik etki gösteren Adeno virüs ve RSV gibi etkenlerin neden olduğu viral enfeksiyonların, alerji ve astımı tetiklemesinde etken olduğu rapor edilmiştir. Bunun nedeni; antijenlerin, immün sistem hücreleri tarafından işlenmeden, hasarlı bölgeden doğrudan dolaşım sistemindeki lenfositlere ulaşması olduğu düşünülmür. Gelişmiş ülkelerde alerjik bireylerin sayısının artış göstermesi ve buna zıt olarak da gelişmekte olan ülkelerdeki bireylerde daha az alerjik birey varlığı ve sitokin cevabı arasındaki farklılıklar, hijyen hipotezini destekler niteliktedir (Ekinci, 2015).

### 3.3. Besin Alerjisinde Beslenme ve Mikrobiyom

Besin alerjisindeki ani artış, beslenme ve bağırsak mikrobiyotası hastalık patogenezinde önemli rol oynar. Katı gıdaların erken girişi, mikrobiyotanın dayanıklı ağız toleransı sağladığı bir zaman olan "sütten kesme reaksiyonu" ile senkronize olur. Son çalışmalar, besin alerjisi olan çocukların *Clostridiales* türlerinin kaybı ile erken başlangıçlı bir disbiyozis gösterdiğini ve bunun da ROR- $\gamma$ t + 'nın farklılaşmasını teşvik ettiğini göstermiştir (Stephen-Victor ve ark., 2020).

Beslenme, bağırsak mikrobiyota çeşitliliğini ve fonksiyonunu etkileyen ana çevresel faktörlerden biri olarak kabul edilir. Beslenme, erken yaşamda önemli bir çevresel faktördür ve bağışıklık sisteminin olgunlaşmasını ve gelişmesini çeşitli şekillerde etkileyebilir. Mckenzie ve arkadaşları (2017), "beslenme-bağırsak mikrobiyom-fizyoloji eksenini" ni diyet, bağırsak mikrobiyotası ve alerjik hastalık arasında temel bir bağlantı olarak tanımlar (McKenzie ve ark., 2017).

Roduit ve arkadaşları (2019), bir doğum kohortundan 1 yaşındaki 301 çocuğun dışkı örneklerinde kısa zincirli yağ asitlerinin (KZYA) seviyelerini analiz etmişlerdir. Bir yaşında en yüksek bütirat ve propiyonat seviyelerine sahip çocukların 3 ve 6 yaşlarında astım hastalığına yakalanma olasılıklarının daha düşük olduğunu bildirmişlerdir. Bu çocuklar ayrıca, önemli ölçüde daha az alerjik duyarlılık ve gıda alerjisi ile alerjik rinit teşhisi risklerinde azalma göstermiştir. Araştırmalar, artan KZYA düzeylerinin çocuklarda alerjik hastalığı önlemek için bir seçenek olabileceğini göstermektedir (Roduit ve ark., 2019). Evde hazırlanan sebze, meyve ve lifli diyetin, *Bifidobacterium* gibi bakterilerin çoğalmasını sağlayarak kısa zincirli yağ asitleri (KZYA) seviyelerinde bir artış sağladığı bilinmektedir. Tan ve arkadaşları (2016), *Bifidobacterium* türlerinin azalan seviyelerini, alerji riskinin artmasıyla ilişkilendirmektedir (Tan ve ark., 2016).

Besin alerjisinin gelişmesinde çeşitli diyet faktörlerinin anahtar rol oynadığı görülmektedir. Roduit ve arkadaşları (2014), bir doğum kohort çalışmalarında, 856 çocuğun yaşamlarının ilk yılında beslenme uygulamalarını araştırırken, ileriye dönük olarak çevresel faktörler ve alerjik hastalık gelişimi hakkında veri toplamıştır. Yaşamın ilk yılında başlatılan tamamlayıcı gıda çeşitliliğinin artmasının, 6 yaşına kadar gıda alerjisi ve gıda duyarlılığı gelişimi ile ters ilişkili olduğunu bildirmişlerdir. Sunulan her ek gıda maddesi ile bir doz-yanıt etkisi de not edilmiştir. Çeşitli diyetlerin gıda alerjisi gelişimine karşı koruyucu bir etkisi olduğunu düşünmektedirler (Roduit ve ark., 2014).

2019 yılında Cait ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada, erken bebeklik döneminde bağırsaktaki bakteriyel bütirat üretiminin çocuklarda atopik hastalık gelişimine karşı koruyucu olup olmadığı araştırılmıştır. Çalışmanın sonucunda, alerjik duyarlılık geliştirmeye devam eden bebeklerin mikrobiyomunda hem karbonhidrat parçalanması hem de bütirat üretimi için anahtar enzimleri kodlayan genlerden yoksun olduğunu bulmuşlardır (Cait ve ark., 2019).

Araştırmalar beslenmenin az bir zaman aralığında bağırsak mikrobiyotasında önemli değişikliklere yol açabileceği göstermiştir. Tıbbi beslenme tedavisiyle birlikte bağırsak mikrobiyotası arasındaki ilişki daha fazla araştırılmalıdır (Mercan ve Özel, 2019).

Tablo 1. Besin Alerjilerinin Doğal Seyri ve Besin Alerjenleri ile Çapraz Reaksiyon (Mısırlıoğlu ve Bostancı, 2013).

Besin Alerjilerinin Doğal Seyri ve Besin Alerjenleri ile Çapraz Reaksiyon			
Besin	Başlama Yaşı	Çapraz Reaksiyon	Düzelme Yaşı
Yumurta beyazı (Tavuk)	6-24 ay	Diğer yumurtalar	7 yaş (%75 hasta düzelir)
İnek sütü	6-12 ay	Koyun, keçi ve manda	5 yaş (%76 hasta düzelir)
Fıstık	6-24 ay	Baklagiller, ağaç fıstıkları	Yaşam boyu devam eder (%20 hasta 5 yaşa kadar düzelir)
Ağaç fıstıkları	1-7 yaş erişkinlerde huş poleni ile çapraz reaksiyon	Fıstık ve diğer ağaç fıstıkları	Yaşam boyu devam eder (%9 hasta 5 yaşa kadar düzelir)
Susam	6-36 ay	Fıstık ve ağaç fıstıkları	Yaşam boyu devam eder (%9 hasta 7 yaşa kadar düzelir)
Balık	Genç, çocuk erişkinlik	Bütün balıklar	Yaşam boyu devam eder
Deniz ürünleri	Erişkin dönemi 6-24 ay	Diğer deniz ürünleri	Yaşam boyu devam eder
Buğday	6-24 ay	Gluten içeren tahıllar	Gluten içeren tahıllar 5 yaş (%80 hasta düzelir)
Soya	6-24 ay	Baklagiller	2 yaş (%67 hasta düzelir)
Kivi	Herhangi bir yaş	Muz, avokado, latex	Bilinmiyor
*Elma, havuç, şeftali	Geç çocukluk, erişkin	Birch polen, diğer meyveler, fıstıklar	Bilinmiyor

\*Elma, Havuç, şeftali ile ortaya çıkan oral alerji sendromu şeklinde olup, proteinler sıklıkla ısı ile antijenik yapılarını kaybederler. Taze yenildiği zaman oral kaşıntıya yol açarken pişirildikleri zaman tolere edilebilirler. Genelde anafilaksi riski oluşturmazlar.

### 3.4. Probiyotiklerin Rolü

Probiyotikler, bariyer işlevini iyileştirerek, potansiyel patojenlerle etkileşerek, immünomodülasyon ve nörotransmitterlerin üretiminde bağırsak-beyin ekseninin hücresele bileşenlerine kadar değişik yollarla konakçıya dört temel mekanizma yoluyla fayda sağlamaktadır (Sánchez ve ark., 2017).

Probiyotiklerin immünomodülatör etkileriyle, alerji gibi immünolojik hastalıklarda yararlı etkileri vardır (Kim ve ark., 2014; Di Costanzo ve ark., 2016). Probiyotik metaboliti olan kısa zincirli yağ asitleri, periferik Treg hücre sayısını ve işlevinin düzenlenmesinde yarar sağlar. KZYA kolonda yer alan Foxp3+ ile Treg hücrelerin üzerinde bulunan G-protein-bağlı 43 reseptörünü (GPR43) aktive ederek yarar sağlar (Furusawa ve ark., 2013; Milligan ve ark., 2014).

Probiyotikler, Th1 yanıtını artırarak Th1/Th2 dengesini sağlamaktadır ve Th2'den IgE üretimini ve IL6, IL10, IL4 salınımını baskılayarak alerjik hastalıkların oluşumunu baskılamaktadır (Koshksaray ve ark., 2020). Yapılan bir çalışmada besin alerjili fare modelinde *Anaerostipes caccae* ile doyurulan farelerde alerjik semptomlar azaltmıştır (Feehley ve ark., 2019). Yapılan başka bir çalışmada ise, *Clostridiales* türleri verilen farelerde besin alerjisinin önlenmesine katkı sağlanmıştır (Abdel-Gadir ve ark., 2019; Akyüz ve Sürücü, 2020).

191 gebeden (LGG grubu (*Lactobacillus* verilen), n = 95; kontrol grubu, n = 96) oluşan bir popülasyonda, erken çocukluk ve maternal alerjik hastalıkların önlenmesinde prenatal ve postnatal probiyotiklerin etkinliği araştırılmıştır. Gebeliğin ikinci e-ISSN: 2148-2683

trimesterinde başlayan LGG uygulamasının, Th1 yanıtının artmasıyla maternal alerjik hastalığın şiddetini azalttığı fakat çocukluk çağı alerjik duyarlılığı veya alerjik hastalıkların insidansını azaltmadığı sonucuna ulaşılmıştır (Ou ve ark., 2012).

### 3.5. Fekal Mikrobiyota Transplantasyonu/ Fekal Bakteriyoterapi

Mikrobiyota; birçok hastalık ve besin alerjileri açısından önemli rol oynamaktadır. Fekal Mikrobiyota Transplantasyonu (FMT) bağırsak mikrobiyotasının geliştirilmesi, tip 2 bağışıklık modülasyonunun geliştirilmesi ve bağırsak bariyerinin onarılması amacıyla uygulanan bir tedavi yöntemidir.

FMT “sağlıklı bireyden alınan gaitanın çeşitli işlemlerden geçirilerek, suspansiyon haline getirilmesi” ve hasta bireyin intestinal lümenine çeşitli yollar ile (nazoduodenal/nazojejunal sonda, enema, jejunoskopi, gastroskopi veya kolonoskopi) verilmesi işlemidir. Yapılan bir deneyde, besin alerjisine sahip bir fareye sağlıklı bir bebekten yapılan bir FMT işlemi ile alerjen maruziyet sonrası gelişen anafilaksinin önüne geçilebilmiştir. Bu olumlu etkileri ile FMT tedavisi, umut vaat eden bir tedavi olarak görülmektedir. FMT'nin tıbbi literatürdeki diğer isimleri, fekal bakteriyoterapi, gaita transplantasyonu ve fekal transfüzyondur (Abdel-Gadir ve ark., 2019; Uygun, 2017; Demirci, 2019).

### 3.6. Probiyotikler

Probiyotik, konak mikroorganizmalar tarafından seçici olarak kullanılan sağlığa faydalı bir substrattır. Fruktooligosakkaritler (FOS), galaktooligosakkaritler (GOS), inülin, laktuloz ve

polidekstroz gelişmiş prebiyotikler sınıfında bulunurken, izomaltooligosakkaritler (IMO), ksilooligosakkaritler ve laktitol ise gelişmekte olan prebiyotikler sınıfındadır (Demirci ve ark., 2017). Prebiyotikler, ince bağırsak enzimlerince sindirilemeyerek kolona geçmektedir ve burada bulunan bakteriler tarafından fermente olmaktadır. Prebiyotikler, kolondaki bakterilerin aktivitelerini seçici olarak uyararak konakçıya faydalı olan bakterilerin gelişimini sağlamaktadır (Haarman ve Knol, 2006). Prebiyotiklerin karbon kaynağı olarak kullanılmasıyla, asetik asit, laktik asit, bütirik asit ve propiyonik asit gibi KZYA oluşur. KZYA bağırsak pH'ını düşürür ve böylece, mineral ve kalsiyum emilimi artar (Saad ve ark., 2013; Bakır, 2012).

### 3.7. Sinbiyotikler

Probiyotikler ve prebiyotiklerin sinerji içerisinde birlikte hareket etmek üzere birleştirilmesine, "sinbiyotik" denmektedir. En iyi sinerjik etki gösteren sinbiyotikler ise *Bifidobacterium* suşları+FOS, *Bifidobacterium* suşları+GOS, *Lactobacillus* suşları+laktitol, kombinasyonlarıdır (Gülmez ve Güven, 2002). Sinbiyotiklerin immünomodülatör, antialerjik, antimikrobiyal, antikarsinojenik, hipolipidemik ve hipoglisemik etkileri bildirilmiştir Chang ve arkadaşlarının (2016) yapmış olduğu bir araştırmada, 1 yaş ve üzeri çocuklarda atopik dermatit tedavisi için, özellikle karışık bakteri suşlarından oluşan sinbiyotiklerin kullanımını önerilmektedir (Chang ve ark., 2016).

## 4. Sonuç

- Gelişmiş ülkelerde son yıllarda besin alerjilerinin görülme sıklığı giderek artmaktadır.
- Ailede atopi öyküsünün dışında, tamamlayıcı beslenmeye geçiş, sezaryenle doğum, hijyen hipotezi ve disbiyosiz varlığı besin alerjilerini tetikleyen etmenler arasındadır.
- Mikrobiyota besin alerjilerinde fizyolojik olarak koruyucu işlevleri düzenlemektedir.
- Probiyotikler immünomodülatör etki göstererek, alerji ve immünolojik hastalıkların mekanizmalarına olumlu katkılar sağlamaktadır.
- Besin alerjilerinin ülkemizdeki sıklığının saptanması, risk altındaki bireylerin saptanması, gıda güvenliğinin sağlanması, toplumun bilinçlendirilmesi ve koruyucu önlemlerin alınması gerekmektedir.
- Tıbbi beslenme tedavisiyle birlikte bağırsak mikrobiyotası arasındaki ilişki daha fazla araştırılmalıdır.

## Kaynakça

Abdel-Gadir, A., Stephen-Victor, E., Gerber, G. K., Rivas, M. N., Wang, S., Harb, H., ... & Chatila, T. A. (2019). Microbiota therapy acts via a regulatory T cell MyD88/ROR $\gamma$ t pathway to suppress food allergy. *Nature medicine*, 25(7), 1164-1174.

Akan A. (2016). Alerji Testleri. Aslan A, Kiper N, editörler. Çocuk Göğüs Hastalıklarında Tanı Yöntemleri. 1. Baskı: İstanbul. Probiz Ltd. Şti. (Content Ed Net Türkiye), 65-77.

Akay, E., & Yılmaz, İ. (2020). Yeni Etiketleme Yönetmeliğine Göre Alerjen Gıdalar ve Sağlık Etkileri.

Akbulut, G. (2016). Tıbbi Beslenme Tedavisinde Güncel Uygulamalar 1. Besin Alerjisi, Besin İntoleransı Durumlarında Beslenme ve Test Diyetleri. (Gözden geçirilmiş ikinci baskı). Ankara: Ankara Nobel Tıp Kitabevi.

Akoğlu, A., & Oruç, M. (2018). Metabolik Gıda İntoleransları. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 22(2), 284-295. <https://doi.org/10.29050/harranziraat.296641>

Akyüz, E. Y., & Sürücü, Y. (2020). Fekal mikrobiyota transplantasyonu ve hastalıklar üzerine etkileri. *Sağlık Akademisyenleri Dergisi*, 7(4), 296-303.

Akyüz, H. C. (2018). Besin Alerjisi Olan Çocukların Beslenme Durumunun Değerlendirilmesi.

Anvari, S., Miller, J., Yeh, C. Y., & Davis, C. M. (2019). IgE-mediated food allergy. *Clinical reviews in allergy & immunology*, 57(2), 244-260.

Bakır, B. O. (2012). Prebiyotik, Probiyotik ve Sinbiyotiklere Genel Bakış. *Beslenme ve Diyet Dergisi*, 40(2), 178-182.

Bayram, G. (2011). Bursa ili 6-14 yaş grubu çocuklarda besin alerjisi ve semptomlarının sıklığı.

Begen, F. M., Barnett, J., Barber, M., Payne, R., Gowland, M. H., & Lucas, J. S. (2017). Parents' and caregivers' experiences and behaviours when eating out with children with a food hypersensitivity. *BMC Public Health*, 18(1). <https://doi.org/10.1186/s12889-017-4594-z>

Boyce, JA, Assa'ad, A., Burks, AW, Jones, SM, Sampson, HA, Wood, RA, ... & Schwaninger, JM (2011). Amerika Birleşik Devletleri'nde gıda alerjisinin teşhisi ve yönetimi için kılavuzlar: NIAID sponsorluğundaki uzman paneli raporunun özeti. *Amerikan Dermatoloji Akademisi Dergisi*, 64 (1), 175-192.

Cait, A., Cardenas, E., Dimitriu, P. A., Amenyogbe, N., Dai, D., Cait, J., ... & Mohn, W. W. (2019). Reduced genetic potential for butyrate fermentation in the gut microbiome of infants who develop allergic sensitization. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 144(6), 1638-1647.

Canani, R. B., Gilbert, J. A., & Nagler, C. R. (2015). The role of the commensal microbiota in the regulation of tolerance to dietary allergens. *Current opinion in allergy and clinical immunology*, 15(3), 243.

Canani, R. B., Paparo, L., Nocerino, R., Di Scala, C., Della Gatta, G., Maddalena, Y., ... & Ercolini, D. (2019). Gut microbiome as target for innovative strategies against food allergy. *Frontiers in immunology*, 10, 191.

Chang Y, Trivedi MK, Jha A, Lin Y, Dimaano L, Garcia-Romero MT. (2016). Synbiotics for Prevention and Treatment of Atopic Dermatitis A Meta-analysis of Randomized Clinical Trials. *JAMA Pediatrics*, 170(3):236-242. [doi:10.1001/jamapediatrics.2015.3943](https://doi.org/10.1001/jamapediatrics.2015.3943).

De Martinis, M., Sirufo, M. M., Suppa, M., & Ginaldi, L. (2020). New perspectives in food allergy. *International journal of molecular sciences*, 21(4), 1474.

Demir, E. (2019). Alerjik Hastanın Beslenmesine Akılcı Yaklaşım. *Klinik Tıp Pediatri Dergisi*, 11(2), 94-102.

Demir, E., & Ulusoy, E. (2017). Evaluation of Food Allergies. *Klinik Tıp Pediatri Dergisi*, 9, 74-77.

Demirci, M., Sağdıç, O., Çavuş, M., Pehlivanoğlu, H., Yılmaz, M. T., & Çağlar, M. (2017). Prebiyotik oligosakkaritlerin kaynakları, üretimleri ve gıda uygulamaları. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 6(10), 20-31.

Demirci, H. (2019). Fekal Mikrobiyota Transplantasyonu. *Tıp Fakültesi Klinikleri Dergisi*, 2(4), 127-129. Retrieved from <http://dergipark.org.tr/en/pub/atk/issue/51601/668447>.

Di Costanzo, M., Amoroso, A., & Canani, R. B. (2016). Gut microbiota as a target for food allergy. *Journal of pediatric gastroenterology and nutrition*, 63(1S), S11-S13.

Dyer, A. A., & Gupta, R. (2013). Epidemiology of childhood food allergy. *Pediatric Annals*, 42(6), 91-95. <https://doi.org/10.3928/00904481-20130522-08>

- Ekinci, B. Besin Allerjisi Ve Dört Hipotez. 21 Mayıs 2015, 9.
- Epöztürk K.,(2021) Besin Duyarlılığı Sıklığı Nedir? <https://istanbulalerjimerkezi.com.tr/yetiskinlerde-besin-alerjisi-sikligi/> [Erişim tarihi 01.03.2021]
- Faber, M. A., van Gasse, A. L., Decuyper, I. I., Sabato, V., Hagendorens, M. M., Mertens, C., Bridts, C. H., de Clerck, L. S., & Ebo, D. G. (2018). Cross-Reactive Aeroallergens: Which Need to Cross Our Mind in Food Allergy Diagnosis? *Journal of Allergy and Clinical Immunology: In Practice*, 6(6), 1813–1823. <https://doi.org/10.1016/j.jaip.2018.08.010>
- Feehley, T., Plunkett, C. H., Bao, R., Hong, S. M. C., Cullen, E., Belda-Ferre, P., ... & Nagler, C. R. (2019). Healthy infants harbor intestinal bacteria that protect against food allergy. *Nature medicine*, 25(3), 448–453.
- Floch, M. H., & Narayan, R. (2002). Diet in the Irritable Bowel Syndrome. In *J Clin Gastroenterol*. Lippincott Williams & Wilkins, Inc. <http://journals.lww.com/jcge>
- Frith K, Katelaris CH. (2019). Current perspectives on peanut allergy. *Internal Medicine Journal*. 12:1480-7.
- Furusawa, Y., Obata, Y., Fukuda, S., Endo, T. A., Nakato, G., Takahashi, D., ... & Ohno, H. (2013). Commensal microbe-derived butyrate induces the differentiation of colonic regulatory T cells. *Nature*, 504(7480), 446–450.
- Gübür, S. (2012). Besin intoleransı saptanan kilolu ve obez kişilere uygulanan eliminasyon diyetinin, vücut kompozisyonu ve biyokimyasal parametrelere etkisinin belirlenmesi (Master's thesis, İstanbul Bilim Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü).
- Gülmez, M. ve Güven, A. (2002). Probiyotik, prebiyotik ve sinbiyotikler. *Kafkas Üniversitesi Veterinerlik Fakültesi Dergisi*, 8, 83–89.
- Güzelsoy, N. A. (2021). Badem ve fındıktaki alerjen peptidlerin proteomiks tekniği kullanılarak tespiti ve ısıtma işlem sonrası alerjenlerin stabilitesinin araştırılması.
- Haarman, M., & Knol, J. (2006). Quantitative real-time PCR analysis of fecal *Lactobacillus* species in infants receiving a prebiotic infant formula. *Applied and Environmental Microbiology*, 72(4), 2359–2365.
- Ho, M. H. K., Wong, W. H. S., & Chang, C. (2014). Clinical spectrum of food allergies: a comprehensive review. *Clinical reviews in allergy & immunology*, 46(3), 225–240.
- Hornig M (2013) The role of microbes and autoimmunity in the pathogenesis of neuropsychiatric illness. *Curr Opin Rheumatol*, 25:488–795.
- Iweala, OI ve Burks, AW (2016). Gıda allerjisi: patogenezi, önlenmesi ve tedavisi ile ilgili gelişen anlayışımız. *Güncel allerji ve astım raporları*, 16 (5), 37.
- Johansson, S. G. O., Bieber, T., Dahl, R., Friedmann, P. S., Lanier, B. Q., Lockey, R. F., Motala, C., Ortega Martell, J. A., Platts-Mills, T. A. E., Ring, J., Thien, F., van Cauwenberge, P., & Williams, H. C. (2004). Revised nomenclature for allergy for global use: Report of the Nomenclature Review Committee of the World Allergy Organization, October 2003. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 113(5), 832–836. <https://doi.org/10.1016/j.jaci.2003.12.591>
- Johnson, C. C., & Ownby, D. R. (2017). The infant gut bacterial microbiota and risk of pediatric asthma and allergic diseases. *Translational Research*, 179, 60–70.
- Johnston, L. K., Chien, K. B., & Bryce, P. J. (2014). The immunology of food allergy. *The Journal of Immunology*, 192(6), 2529–2534.
- Kalip, K., & Atak, N. (2018). Bağırsak mikrobiyotası ve sağlık. *Turkish Journal of Public Health*, 16(1), 58.
- Keet C, & Wood R. (2011). Overview of mucosal immunity and development of oral tolerance. In B. A. E. P. James JM (Ed.), *In Food Allergy* (pp. 31–undefined).
- Khanna S, Toshi PK (2014) A clinician's primer on the role of the microbiome in human health and disease. *Mayo Clin Proc*, 89:107–114.
- Kim, H. J., Kim, Y. J., Lee, S. H., Yu, J., Jeong, S. K., & Hong, S. J. (2014). Effects of *Lactobacillus rhamnosus* on allergic march model by suppressing Th2, Th17, and TSLP responses via CD4+ CD25+ Foxp3+ Tregs. *Clinical Immunology*, 153(1), 178–186.
- Koca, T., & Akçam, M. (2015). İnek sütü protein allerjisi. *Dicle Medical Journal / Dicle Tıp Dergisi*, 42(2). <https://doi.org/10.5798/diclemedj.0921.2015.02.0572>
- Koshksaray, F. K., Özbalak, M. M., Balkan, İ. İ., & Yurdagül, G. E. Gıda Kaynaklı İmmünomodülatörler. *Experimed*, 10(2), 97–111.
- Krogulska A, Wood RA.(2020). Peanut allergy diagnosis: Moving from basic to more elegant testing. *Pediatric Allergy and Immunology*. 31(4):346-57.
- Kurtaran, B. (2021). Mikrobiyom ve mikrobiyota. *Ege Tıp Dergisi*, 88–93.
- Kvenshagen, B., Halvorsen, R., & Jacobsen, M. (2009). Is there an increased frequency of food allergy in children delivered by caesarean section compared to those delivered vaginally?. *Acta Paediatrica*, 98(2), 324–327.
- Lee, S. (2017). Çocuklarda IgE aracılı gıda allerjileri: yaygınlık, tetikleyiciler ve yönetim. *Kore pediatri dergisi*, 60 (4), 99.
- Loh, W., & Tang, M. L. (2018). The epidemiology of food allergy in the global context. *International journal of environmental research and public health*, 15(9), 2043.
- Lopes, J. P., & Sicherer, S. (2020). Food allergy: epidemiology, pathogenesis, diagnosis, prevention, and treatment. *Current Opinion in Immunology*, 66, 57–64. <https://doi.org/10.1016/j.coi.2020.03.01>
- McKenzie, C., Tan, J., Macia, L., & Mackay, C. R. (2017). The nutrition-gut microbiome-physiology axis and allergic diseases. *Immunological reviews*, 278(1), 277–295.
- Mercan, S., & Özel, H. G. (2019). Çocukluk Çağı Kronik Hastalıklarında Tıbbi Beslenme Tedavisi Bağırsak Mikrobiyotasını Etkiler mi? . *Beslenme ve Diyet Dergisi*, 47(3), 67–75.
- Mısırhoğlu ED, Bostancı İ. Besin Allerjisi. *Türkiye Çocuk Hast Derg/Turkish J pediatr Dis /2013: 4: 206-213.*
- Milligan, G., Ulven, T., Murdoch, H., & Hudson, B. D. (2014). G-protein-coupled receptors for free fatty acids: nutritional and therapeutic targets. *British journal of nutrition*, 111(S1), S3–S7.
- Molloy, J., Allen, K., Collier, F., Tang, M. L., Ward, A. C., & Vuillermin, P. (2013). The potential link between gut microbiota and IgE-mediated food allergy in early life. *International journal of environmental research and public health*, 10(12), 7235–7256.
- Muraro, A., Werfel, T., Hoffmann-Sommergruber, K., Roberts, G., Beyer, K., Bindslev-Jensen, C., ... & EAACI Food Allergy and Anaphylaxis Guidelines Group. (2014). EAACI food allergy and anaphylaxis guidelines: diagnosis and management of food allergy. *Allergy*, 69(8), 1008–1025.
- Ng, S. C., Hart, A. L., Kamm, M. A., Stagg, A. J., & Knight, S. C. (2009). Mechanisms of action of probiotics: recent advances. *Inflammatory bowel diseases*, 15(2), 300–310.
- Nwaru, B. I., Hickstein, L., Panesar, S. S., Roberts, G., Muraro, A., & Sheikh, A. (2014). Prevalence of common food allergies in Europe: A systematic review and meta-analysis. In *Allergy: European Journal of Allergy and Clinical Immunology* (Vol. 69, Issue 8, pp. 992–1007). Blackwell Publishing Ltd. <https://doi.org/10.1111/all.12423>
- Olszak T, An D, Zeissig S, Vera MP, Richter J, Franke A et al. (2012) Microbial exposure during early life has persistent effects on natural killer T cell function. *Science*, 336:489–493.
- Ou, C. Y., Kuo, H. C., Wang, L., Hsu, T. Y., Chuang, H., Liu, C. A., ... & Yang, K. D. (2012). Prenatal and postnatal probiotics reduces maternal but not childhood allergic diseases: a

- randomized, double-blind, placebo-controlled trial. *Clinical & Experimental Allergy*, 42(9), 1386-1396.
- Özcan, T., Delikanlı, B., & Yıldız, E. (2015). Gıda işleme yöntemlerinin gıda alerjenitesi üzerine etkisi. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 29(2).
- Özçeker, D., & Tamay, Z. (2015). Çocuklarda inek sütü alerjisine yaklaşım. *İstanbul Bilim Üniversitesi Florence Nightingale Tıp Dergisi*, 1(2), 108-114.
- Özçelik, Ö. (2019). Besin Alerjilerinde Tanı Testleri (Taha Gökmen Ülger, Ayşe. *Academic Studies on Natural and Health Sciences*, 275.
- Öztürk, U. D. M., & Besler, H. T. (2012). Besin alerjileri. Sağlık bakanlığı yayınları. Ankara.
- Paykoç E. (2017). Gıda Alerjisi, Gıda Alerjisinin Mekanizması, Tanı Yöntemleri ve Alerjinitesinin Azaltılmasında Kullanılan Teknikler [Lisans Tezi]. Trabzon, Türkiye: Gıda Mühendisliği Bölümü, Avrasya Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi.
- Prescott, S. L., Pawankar, R., Allen, K. J., Campbell, D. E., Sinn, J. K., Fiocchi, A., Ebisawa, M., Sampson, H. A., Beyer, K., & Lee, B.-W. (2013). A global survey of changing patterns of food allergy burden in children. <http://www.waojournal.org/content/6/1/21>.
- Prescott, S.L., Macaubas, C., Holt BJ, Smallacombe TB, Loh R, Sly PD, et al. (1998) Transplacental priming of the human immune system to environmental allergens: universal skewing of initial T cell responses toward the Th2 cytokine profile. *J Immunol*; 160 (10): 4730-4737.
- Roduit, C., Frei, R., Depner, M., Schaub, B., Loss, G., Genuneit, J., ... & PASTURE study group. (2014). Increased food diversity in the first year of life is inversely associated with allergic diseases. *Journal of allergy and clinical immunology*, 133(4), 1056-1064.
- Roduit, C., Frei, R., Ferstl, R., Loeliger, S., Westermann, P., Rhyner, C., ... & Doekes, G. (2019). High levels of butyrate and propionate in early life are associated with protection against atopy. *Allergy*, 74(4), 799-809.
- Saad, N., Delattre, C., Urdaci, M., Schmitter, J. M., & Bressollier, P. (2013). An overview of the last advances in probiotic and prebiotic field. *LWT-Food Science and Technology*, 50(1), 1-16.
- Sackesen, C., Altıntaş, DU, Bingol, A., Bingol, G., Büyüktiryaki, B., Demir, E., ... & Şekerel, BE (2019). İnek sütü alerjisinde tolerans indüksiyonundaki mevcut eğilimler: pasif stratejilerden proaktif stratejilere. *Pediatric Sınırlar*, 7, 372.
- Sampson HA, & Burks AW. (2009). *Middleton's Allergy Principles & Practice*. 67-1139.
- Sampson, H. A. (2004). Update on food allergy. *Journal of allergy and clinical immunology*, 113(5), 805-819.
- Sánchez, B., Delgado, S., Blanco-Míguez, A., Lourenço, A., Gueimonde, M., & Margolles, A. (2017). Probiotics, gut microbiota, and their influence on host health and disease. *Molecular nutrition & food research*, 61(1), 10.1002/mnfr.201600240. <https://doi.org/10.1002/mnfr.201600240>
- Satitsuksanoa, P., Jansen, K., Głobińska, A., van de Veen, W. ve Akdis, M. (2018). Gıda alerjisine toleransta düzenleyici bağışıklık mekanizmaları. *İmmünolojide Sınırlar*, 9, 2939.
- Seth, D., Poowutikul, P., Pansare, M., & Kamat, D. (2020). Food allergy: A review. *Pediatric annals*, 49(1), e50-e58. <https://doi.org/10.3928/19382359-20191206-01>
- Shroba, J., Rath, N., & Barnes, C. (2019). Possible role of environmental factors in the development of food allergies. *Clinical reviews in allergy & immunology*, 57(3), 303-311.
- Sicherer, S. H., & Sampson, H. A. (2018). Food allergy: a review and update on epidemiology, pathogenesis, diagnosis, prevention, and management. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 141(1), 41-58.
- Stephen-Victor, E., Crestani, E., & Chatila, T. A. (2020). Dietary and Microbial Determinants in Food Allergy. *Immunity*, 53(2), 277-289.
- Strachan DP, 1989. Hay fever, hygiene, and household size. *BMJ.*, 299:1259-1260.
- Szépfalusi, Z., Spiesz, K., & Huttegger, I. (2015). Diagnostik und Management von Nahrungsmittelallergien im Kindes- und Jugendalter. *Wiener Medizinische Wochenschrift*, 165(17), 354-360.
- Tan, J., McKenzie, C., Vuillermine, P. J., Goverse, G., Vinuesa, C. G., Mebius, R. E., ... & Mackay, C. R. (2016). Dietary fiber and bacterial SCFA enhance oral tolerance and protect against food allergy through diverse cellular pathways. *Cell reports*, 15(12), 2809-2824.
- Thompson-Chagoyan, O. C., Vieites, J. M., Maldonado, J., Edwards, C., & Gil, A. (2010). Changes in faecal microbiota of infants with cow's milk protein allergy—a Spanish prospective case-control 6-month follow-up study. *Pediatric Allergy and Immunology*, 21(2p2), e394-e400.
- Tokuç, R. (2017). Gıda İntoleransının 30-45 Yaş Arası Sedanter Bireyler Üzerindeki Fiziksel ve Ruhsal Etkileri (Master's thesis, İstanbul Gelişim Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü).
- Türkiye İstatistik Kurumu (2016). Türkiye Sağlık Araştırması. <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=18854>.
- Türkiye Ulusal Alerji ve Klinik İmmunoloji Derneği. (2021). Alerjenler. [https://www.aid.org.tr/hastaliklar/alerji/alerjenler/\[Erişim Tarihi 01.03.2021\]](https://www.aid.org.tr/hastaliklar/alerji/alerjenler/[Erişim Tarihi 01.03.2021])
- Ulaş Kadioğlu, B. (2017). Artan Gıda Hipersensitivitesi Sıklığının Epidemiyolojik Olarak Değerlendirilmesi. *The Journal of Academic Social Sciences*, 63(63), 184-192. <https://doi.org/10.16992/asos.13282>
- Uygun, A. (2017). Fekal Mikrobiyota Transplantasyonu (FMT). *Journal of Biotechnology and Strategic Health Research*, 1, 132-140.
- Yazıcı, M., & Özkaya, E. (2020) Çocuklarda Besin Alerjilerine Yaklaşım. *Klinik Tıp Pediatri Dergisi*, 12(2), 85-95.
- Yıldız, D. (2021). Sesamum Indicum L.(Susam) X Papaver Somniferum L.(Haşhaş) Arasındaki Çapraz Reaksiyonların Western Blot Yöntemi İle Gösterilmesi.
- Yıldızdaş, H. Y. (2016) Probiyotikler ve Çocuklarda Bağışıklık Sistemi. *Klinik Tıp Pediatri Dergisi*, 8(3), 5-10.
- Yürük, A. A. (2020). Besin Alerjisi, Besin İntoleransı, Çölyak Hastalığı ve Tıbbi Beslenme Tedavisi. In Prof. Dr. Nevin Şanlıer (Ed.), *Yetişkin Hastalıklarında Tıbbi Beslenme Tedavisi Kitabı* (pp. 310-327).
- Zeyrek, F. Y., & Zeyrek, C. D. (2006) Alerjik Hastalıklar ve Parazitoz.
- Zhao, W., Ho, H. E., & Bunyavanich, S. (2019). The gut microbiome in food allergy. *Annals of Allergy, Asthma & Immunology*, 122(3), 276-282.





# Sustainable Energy Management in Historical Environment; Example of Sivrihisar Solar Water Heating Systems

Hicran Hanım Halaç<sup>1</sup>, Veli Öğülmüş<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Eskişehir Technical University, Faculty of Architecture and Design, Department of Architecture, Eskişehir, Turkey, (ORCID: 0000-0001-8046-9914), hhhalac@eskisehir.edu.tr

<sup>2\*</sup> Eskişehir Technical University, Faculty of Architecture and Design, Department of Architecture, Eskişehir, Turkey, (ORCID: 0000-0001-8156-3582), veliogulmus@eskisehir.edu.tr

(First received 31 May 2021 and in final form 13 November 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.945304)

**ATIF/REFERENCE:** Hanım Halaç, H. & Öğülmüş, V. (2021). Sustainable Energy Management in Historical Environment; Example of Sivrihisar Solar Water Heating Systems. *European Journal of Science and Technology*, (27), 911-920.

## Abstract

As the sustainability principle began to manifest itself more in 21st-century buildings, renewable energy-based systems used as a requirement of this principle are frequently seen in architecture. The most prominent of these are Solar Energy Systems. In this respect, as a result of the buildings' efforts to coexist with this technology, components of Solar Water Heating Systems (SWHS), a new architectural element, started to be included in the buildings. Even though these mechanisms have advantages make our lives easier and serve the sustainability principles, the increasing use of them rapidly in the buildings brings about some problems such as aesthetical, and structural. As a consequence of such problems arising with these systems' widespread use in residential areas, it is essential to examine these additions' relations with buildings and the urban environment. If the buildings that are part of the cultural heritage has these systems require conservation and are located in the historical texture, it is even more essential to emphasize. To manage the sustainability of historical environments, these systems' existence should be determined in either building at historical settlements or registered buildings, and some arrangements should be made by examining their relations with buildings. Considering all, it is aimed to analyze and evaluate the relations of these systems and buildings within the Sivrihisar Urban Protected Area, which has historical and cultural importance in Eskişehir. The study of the data obtained from the buildings in these regions through fieldwork was handled with comparative graphical, mapping methods, and supported with visual representation ways.

**Keywords:** Solar Water Heating Systems, Renewable Energy, Historical Texture, Cultural Heritage, Sivrihisar.

## Tarihi Çevrede Sürdürülebilir Enerji Yönetimi: Sivrihisar Güneş Enerjili Su Isıtma Sistemleri Örneği

### Öz

Sürdürülebilirlik ilkesinin 21. yüzyıl yapılarında kendini daha çok göstermeye başlamasıyla birlikte, bu ilkenin gereği olarak yararlanılan yenilenebilir enerjiye dayalı sistemler mimaride sıklıkla kullanılmaya başlanmıştır. Bunların içinde en fazla öne çıkanları Güneş Enerjisi Sistemleridir. Bu doğrultuda binaların bu teknoloji ile bir arada var olma çabaları sonucunda yeni bir mimari eleman olan Güneş Enerjili Su Isıtma Sistemleri (GESIS) bileşenleri binalarda yer almaya başlamıştır. Bu mekanizmaların hayatımızı kolaylaştıran ve sürdürülebilirlik ilkelerine hizmet eden avantajları olmasına rağmen, binalarda hızla artan kullanımı estetik ve yapısal bazı sorunları da beraberinde getirmektedir. Bu sistemlerin yerleşim alanlarında yaygın olarak kullanılmasıyla ortaya çıkan sorunsalların bir sonucu olarak, bu eklentilerin binalar ve kentsel çevre ile olan ilişkilerinin incelenmesi elzemdir. Eğer ki tarihi doku içerisinde bulunan ve kültürel mirası yansıtan binalarda bu tip eklentiler var ise konu daha da önemli hale gelmektedir. Tarihi çevrelerin sürdürülebilirliğini yönetmek için bu sistemlerin gerek tarihi yerleşim yerlerinde yapılan binalarda gerekse tescilli binalarda varlıkları tespit edilmeli ve yapılarla olan ilişkileri analiz edilerek bazı düzenlemeler getirilmelidir. Bu çalışmada, Eskişehir'de tarihi ve kültürel öneme sahip olan Sivrihisar Kentsel Sit Alanı içerisindeki Güneş Enerjili Su Isıtma Sistemlerinin tarihi yapılarla ilişkilerinin analizinin yapılması amaçlanmıştır. Bu bölgedeki yapılardan edinilen analiz verileri saha çalışmaları sonucu elde edilmiş, karşılaştırmalı grafikler, haritalama yöntemleri ve görsel anlatım yolları ile desteklenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Güneş Enerjili Su Isıtma Sistemleri, Yenilenebilir Enerji, Tarihi Doku, Kültürel Miras, Sivrihisar

\* Corresponding Author: [veliogulmus@eskisehir.edu.tr](mailto:veliogulmus@eskisehir.edu.tr)

## 1. Introduction

The conservation and efficient use of existing resources is of great importance for the survival of human life and nature. The theme of sustainability, which is basically based on these principles, is rapidly starting to take on a more vital role for the building sector. Solar Energy Systems, which seem more effective in terms of their potential, are more common in sustainable structures that use renewable energy as a basis. Solar Heating Systems, which are used to supply the buildings' own hot water, have become extremely common. Solar Water Heating technologies are simple, reliable, and cost-effective methods of utilizing solar energy to meet the energy needs of homes and businesses (Al-badi and Al-badi, 2012). In these systems using solar energy, the energy source used to heat water is no longer electricity and fossil fuels, and it has a renewable identity. Apart from the sustainable functions that these systems bring to the structure, there are some problems that their components arise while being included in the structure. These systems, which incorporate the advantages of using solar energy effectively into the structure, can cause visual pollution in terms of aesthetics in cases of improper positioning, careless assembly, unconscious reproduction, damage to buildings and the natural environment in terms of structure.

Especially for buildings in the historical environment and in need of protection, such problems can cause much bigger ones. While intervening in buildings that can be defined as architectural and cultural heritage, damage to the building should be avoided, attention should be paid not to lose or change the building's traces, which serves as a historical document, and the integrity of the building should be preserved. Simultaneously, interventions should not be misleading for research and studies to be conducted, as they can be removed without damaging the original structure, and/or renewable methods must be used (ICOMOS Turkey, 2013). In this point of view, the additions created by these systems have become an architectural design element that concerns the building with cultural heritage value and its environment, and it is essential to examine and evaluate their presence in historical regions and their relations with the buildings. However, even if there are academic studies in which these problematic issues are analyzed, evaluated, and solutions are tried to be offered within the design problems, no study is conducted on the historical environment and registered buildings. Especially in the works that Mürşan Şerefhanoglu Sözen and Esra Sakıncı dealt with in terms of architectural unity with SWHS, they talked about the problems in the context of the city and on the basis of the building. Still, this work has not included the historical context. This study aims to recognize the existence of these systems, analyze them, determine their relations with the buildings and their surroundings, and evaluate their situation to ensure the sustainability of historical environments and cultural heritage based on the studies in the literature.

As the scope of the study, the buildings within the urban site area of Sivrihisar district in the borders of Eskişehir were selected, and the relations of this region with historical and cultural value with Solar Heating Systems was examined. While presenting the analyzes, it was determined that Gedik and Kılıç Neighborhoods dominate the historical urban tissue compared to other neighborhoods. While making this determination, it was taken into account that the landmarks (Sivrihisar Great Mosque,

Watch Tower, Surp Yerotutyun Armenian Church) that are considered to be the most qualified buildings in the region and can represent Sivrihisar's cultural heritage are concentrated here. Field studies on the scale of Gedik and Kılıç neighborhoods have progressed more specifically and building-oriented. The statistical data obtained from the investigations were narrated with the help of graphics and tables. It aimed to increase the opacity of the system elements entering the viewpoint to better understand the existence of these systems in the historical texture thanks to visual representations. In this study, preliminary information about SWHS will be given first, the areas of use, types, and advantages are going to be mentioned. The relations of these components with the buildings are going to be conveyed. Their presence in Sivrihisar Urban Site will be understood, some results and suggestions will be expressed by analyzing the neighborhoods of Kılıç and Gedik.

### 1.1 Solar Water Heating Systems

Solar energy, among renewable energy sources; the potential it carries is more useful in terms of the access's width, and it responds to many requirements in buildings through heat and light energy. Active exploitation systems developed to benefit from solar radiation more effectively; Especially in recent years, with technological developments, it has become possible to produce heat and electrical energy, use them where necessary, and easily apply them in buildings. Chiefly among these systems, Solar Heating Systems are the ones that have gained the most usage in cities in the 21st century. Solar Heating Systems are all electronic or mechanical systems that transform these radiations into heat energy with collectors' help and use this energy directly or in a storage unit through a fluid such as air or water (Energy Efficiency Best Practice Programme, 2001). Although Solar Heating Systems differ in systems depending on the complexity and size of the requirement, the working principle of all of them is based on the heating, storage, and distribution of water. In these systems, when the primary purpose is to heat and use water, they are called Solar Water Heating Systems (SWHS). Looking at the historical process; In 1958, the solar water heater was first used in China. The thermosiphon circulation solar water heater developed by Tianjin University was used in a 12.6 m<sup>2</sup> bathroom. Since the energy crisis of the 1970s, the use of renewable energy has become a worldwide attraction (Shi et al., 2013). Interest and interest in these systems have also started to increase since then. Also, a solar water heating system for the first time in 1975 in Izmir has used in Turkey. The Turkish community adopted it quickly, and mass production started (Arslan, 2018). The mechanisms of these systems, which have been used densely since then, are composed of four subsystems. These are the collector subsystem, storage subsystem, circuit subsystem, and control subsystem (Unified Facilities Criteria, 2002).

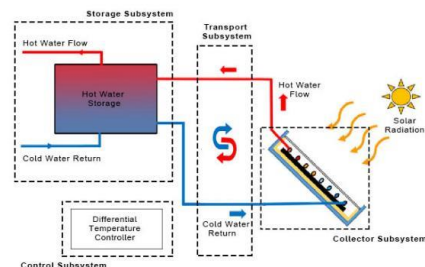


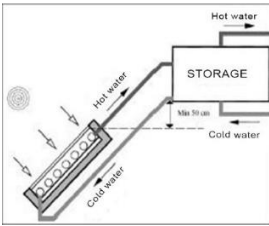
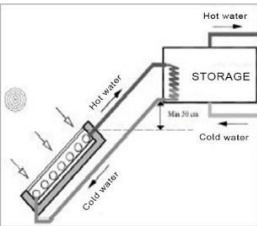
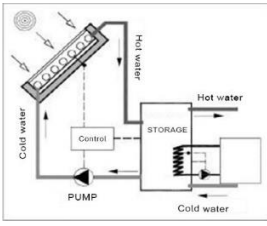
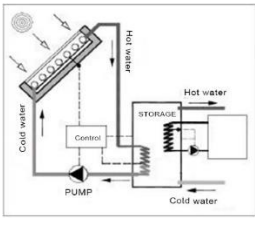
Figure 1. Solar Water Heating System Scheme (Unified Facilities Criteria, 2002).

The mechanism of solar water heating systems has a simple systematic. The hot water is produced in the collector subsystem, which heats the cold water utilizing the sun's radiation, is carried to the tank through the transport subsystem. Hot water collected in the storage subsystem supplies water as much as the building needs. During these operations, the control subsystem also manages the cycle in an active role (Figure 1)

Self circulating systems are mostly used for small amounts of water needs. They cannot be applied in large systems due to the fact that the storage is located above. Since it does not require a pump and automatic control circuit, it is slightly cheaper than pump systems. Forced circulation systems are based on the circulation of the heat transfer fluid in the system with a pump. In these systems, the storage is not required to be

above the level of the collectors. Open systems are systems in which the domestic water and the water circulating in the collectors are the same. Compared to closed systems, their efficiency is higher, and their cost is cheap (Table 1). They are used in areas with no lime in water and freezing problems. Closed systems are systems in which domestic water and heating water are different. If we look at these systems comparatively, we can see that all systems have certain advantages and disadvantages. When making a choice, it is aimed that the system is suitable for climatic conditions, environmental factors, and architectural features. Self circulating / open circuit systems, also known as thermosiphon type water heater, is the most widely used water heating systems because they are economical and easy to apply (Energy Efficiency Best Practice Programme, 2001).

Table 1. Solar Water Heating System Types and Features (Sakinç and Sözen, 2010)

	Self Circulating Open Circuit	Self Circulating Closed Circuit	Forced Circulating Open Circuit	Forced Circulating Closed Circuit
				
<b>System Properties</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-No pump needed</li> <li>-Fluid is <b>domestic water</b></li> <li>-Storage located <b>above collectors</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-<b>Economical</b></li> <li>-High efficiency</li> <li>-Easy operation and maintenance</li> <li>-<b>Simple</b></li> <li>-No operating costs</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-<b>Requires a pump</b></li> <li>-Fluid is <b>domestic water</b></li> <li>-Storage can be separated <b>from collectors</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-<b>Requires a pump</b></li> <li>-Fluid has <b>antifreeze feature</b></li> <li>-Storage can be separated <b>from collectors</b></li> </ul>
<b>Positive Properties</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-<b>Economical</b></li> <li>-High efficiency</li> <li>-Easy operation and maintenance</li> <li>-<b>Simple</b></li> <li>-No operating costs</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-<b>Economical</b></li> <li>-Suitable for <b>cold climate</b></li> <li>-Low probability of freezing</li> <li>-<b>No operating costs</b></li> <li>-No possibility of <b>corrosion</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-<b>Flexible</b> storage layout</li> <li>-Does not strain <b>architecture</b></li> <li>-High efficiency</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-<b>Reliable in all conditions</b></li> <li>-Suitable for cold climate</li> <li>-<b>Flexible</b> storage layout</li> <li>-Does not strain <b>architecture</b></li> <li>-<b>No freezing problem</b></li> <li>-<b>No corrosion</b></li> </ul>
<b>Negative Properties</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-<b>Corrosion</b> problem</li> <li>-Possibility of <b>freezing</b></li> <li>-Not suitable for <b>cold climates</b></li> <li>-Difficult to adapt with <b>architecture</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Low efficiency</li> <li>-<b>Not flexible</b> storage layout</li> <li>-Difficult to adapt with <b>architecture</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-<b>Freezing</b> problem</li> <li>-<b>Corrosion</b> problem</li> <li>-Multi component and <b>complex</b></li> <li>-Operating expenses</li> <li>-<b>Expensive</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Low efficiency</li> <li>-<b>Consumes electricity</b></li> <li>-Multi component and <b>complex</b></li> <li>-Operating expenses</li> <li>-<b>Expensive</b></li> </ul>

## 1.2. Relation of Solar Water Heating Systems with Historical Buildings

When it is claimed to develop an architectural perspective in the relations of solar water heating systems with buildings, it is wanted to achieve a correct union with aesthetic concern. In the early days of the trend towards combining these systems with buildings, the ultimate goal seemed to maximize the degree of integration of solar elements. It was desired to take the word "integration" as a synonym for "invisibility" and conceal the fact that the solar elements are different from other building elements (Hestnes, 1999). However, the necessary attitude to ensure this

unity was not to ignore these elements but to accept them as architectural elements and turn them into an input of the design. The key to the success of quality solar building projects is that, in most cases, architects use an aesthetic compatibility approach rather than ignore these add-ons. In this approach, solar energy elements are used as architectural elements in attractive and visible ways. This is only possible when the solar energy system's design is included in the building's design process (Hestnes, 1999). If the system elements are seen just as additions to the structure, it can be mentioned that there is a complex design process, later on.

It is possible to encounter the existence of both Solar Heating Systems components in rural areas and urban areas. In this period, when almost everyone is aware of such add-ons, it is necessary to evaluate system components as an architectural element. Failed examples emerge when they are not considered as architectural elements and remain only as additions.

It is also possible to come across examples of unsuccessful practices in Turkey. Solar Water Heating Systems are usually added later to Turkey's buildings, applied devoid of a certain standard, and some studies cost as inexpensive systems preferred. This results in low efficiency and unsuccessful examples in terms of architecture. There are unconscious practices like this in many regions around the world. The increase of such examples in settlements jeopardizes the region's authentic existence created by the cultural and aesthetic features.

Especially in historical settlements, such practices affect not only the buildings themselves but also the cultural heritage, historical texture, and cultural values. This reveals several problems arising from the components of Solar Water Heating Systems in historical environments.

### **1.3 The Problem of Solar Water Heating Systems**

Apart from the sustainable value-added by Solar Water Heating Systems to the building, some problems are caused by it. When these problems are examined in detail, the problems caused by these systems, which are found in almost every building in many cities; aesthetic problems, construction problems, health problems, and productivity-economic problems.

We can define health problems as legionary disease problems that arise in systems applied with the wrong material selection that is not cleaned regularly. In terms of efficiency and economy, we can also talk about economic losses caused by improperly designed systems. Yield losses can occur due to lack

of attention to collector maintenance, inadequate material use, and improper collector orientation (Sakinç and Sözen, 2010). The lack of regulation and supervision of these systems, which almost every household implements without considering the compliance for their own needs, and the fact that this issue continues to be ignored in building designs while the new residential areas are rapidly increasing make the problem get chronic. In this context, those that form the basis of the problems we deal with and need to be examined in more detail can be expressed as the Aesthetics and Construction Problems.

For aesthetic problems, it can be classified as a group that includes the most significant problems caused by the system elements examined. When designing physical environments, it is desired to be beautified as possible. This desire for beautification is defined as aesthetics, and this concept has a significant effect on shaping and evaluating architectural products (Kuban, 1973). Aesthetics is one of the most critical factors that instill its identity and artistic value to a building. Damage to this feature in buildings for various reasons also causes a critical problem. When the negative reflections of Solar Energy Systems attached to buildings are examined in terms of aesthetic features, we can talk about the ugly results on the roofs and facades of the buildings and the visual pollution in the cities that occur for this reason (Sakinç and Sözen, 2010). In Figure 2, the dominance of the system additions in the city of Mersin in general, and the problems posed aesthetically are seen. The system additions, seen at the scale of a single building reduce the building's aesthetic quality, but when it is spread throughout the city, it begins to be the problem of the whole city. These elements, which turn into aesthetic pollution in the city, threaten the cities' architectural identities and aesthetic integrity. The consequences of these additions' proliferation are seen much more critical, especially in regions with historical value and in protected areas designated as urban protected areas. In this respect, additions of solar water heating systems have become a problem for cities to deal with.



*Figure 2. Solar Heating Systems in Mersin Context (Sakinç and Sözen, 2009)*

While assembling the components of Solar Heating Systems to the buildings, buildings can be damaged as a result of some unconscious practices. As a result of such applications, it can be said that there are some negative consequences both economically and in terms of the building's existence, and these results affect the entire building. Structural defects, which lead

to water leaks, punctures, and breaks, especially on the roofs, arise as a problem that concerns not only the roof but the entire structure (Sakinç and Sözen, 2010).

These impractical and unplanned applications for buildings damage the quality and characteristics of the building. These additions, which have turned into problems in terms of structure,

also cause extra expenses in financial terms. Every mistake made in terms of structure turns into a situation that needs to be corrected, which forces the user to spend money. Structural problems that start on the roof spread overtime to all parts of the building and consequently damage the entire building.

These interventions to historical buildings that are trying to adapt to the modern period and in need of protection are irreversible mistakes. Damage to the historical heritage, values, and historical fabric increases the questionability of these systems. For this reason, the construction problem, which arises as a result of the presence of solar heating systems in buildings, indirectly affects the sustainability of the cultural heritage.

## 2. Material and Method

### 2.1. Material

The material of study is Solar Water Heating Systems Elements in Sivrihisar Urban Site.



Figure 3: Distribution of Registered Buildings in Sivrihisar Urban Site (Sivrihisar Cultural Inventory, 2019)

Located between Eskişehir and Ankara in Central West Anatolia, Sivrihisar has been able to conserve its historical texture and identity buildings significantly due to the slow development of the district center, although it is close to Ankara, the capital of Turkey and on the ring road route (Doğru, 1997). Also, compared to the other 12 districts in Eskişehir, Sivrihisar is among those with a very high solar energy potential according to the Solar Energy Potential Atlas (GEPA) produced by YEGM, the Ministry of Energy and Natural Resources (Atak, Çabuk, Bakış, and Çabuk, 2019). The interventions in recent years have begun to damage this historical fabric. It can be said that factors such as neglect of the buildings and unqualified additions cause significant aesthetic and structural damage to the buildings.

There are 1076 registered buildings in the urban site area, according to the 2010 Sivrihisar Conservation Development Plan of Eskişehir Province. Two hundred two of these structures have lost their registrations according to the decisions taken in 2015, 2016, and 2017. After these years, there are 874 registered buildings in the region (Sivrihisar Cultural Inventory, 2019). The spread of these buildings in the Sivrihisar Urban Site Area is shown in Figure 3. As of 2017, 701 of the 874 registered buildings have the function of residences within the scope of traditional residential, while 85 are buildings used for industrial and commercial purposes. Apart from these, there are 30 religious buildings (such as cupola, mosque, mausoleum, church), 27 cultural structures (such as a fountain, bathhouse),

16 archaeological sites, seven cemeteries, two military buildings, two administrative buildings, two urban sites. There are also one cemetery and one monument (Sivrihisar Cultural Inventory, 2019). Classification showing the structure type and quality of these structures is given in Table 2.

Table 2. Distribution of Registered Buildings in Sivrihisar Urban Site Area (Sivrihisar Cultural Inventory, 2019).

Registered Building	Number	Type
Residential Buildings	701	Residential(697), Immovables(4)
Commercial Buildings	85	Commercial(84), Shop(1)
Religious Buildings	30	Mosque(14), Cupola(4), Mausoleum(3), Minaret(4), Masjid(3), Church(1), Namazgah(1)
Cultural Buildings	27	Fountain(16), Bathhouse(5), Inn(2), Külliye(1), Watchtower(1), Bridge(1), Şadırvan(1)
Archaeological Sites	16	Necropolis(3), Cave Churches(2), Mounds(6), Archaeological Field(1), Ruin(1), Tumulus(2), Arch. Graveyard(1)
Graveyards	7	Graveyard(7)
Urban Sites	2	Urban Site(2)
Military Buildings	2	Military Building(2)
Administrative Buildings	2	Administrative Building(1), School(1)
Cemeteries	1	Cemetery(1)
Monuments	1	Monument(1)
<b>Total</b>	<b>874</b>	

## 2.2. Method

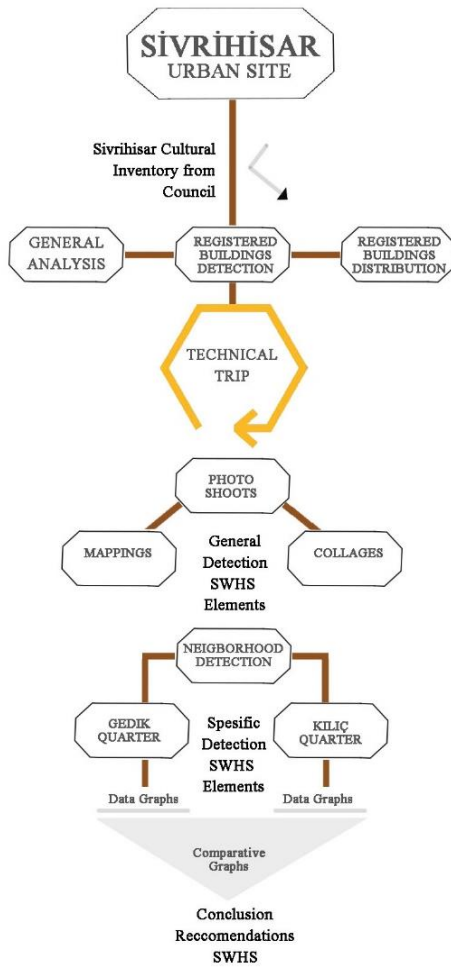


Figure 4: Method Diagram of Study

In this study, various methods were used to analyze the association of solar water heating systems in historical buildings of the Sivrihisar Urban site. First of all, general analyzes of the Sivrihisar urban site were made, Sivrihisar inventory was reached through the Eskişehir Conservation Board, and 874 registered buildings were identified. The buildings reached were divided into categories according to their characteristics. After these procedures, a technical visit was made to the region for the purpose of fieldwork. During this trip, mapping studies and collages were revealed with the photographs taken in the urban site. After the visual data produced as a result of the analysis studies carried out on a general scale, more specific examinations were started.

In the second stage, the neighborhoods in the urban site were determined, and two neighborhoods with the dominant texture on the urban site were selected. For each building on Gedik and Kılıç Neighborhoods, the status of having system elements or not has been examined and conveyed with maps. Then, the analysis data obtained from these two neighborhoods were examined comparatively. Finally, some evaluations were made in line with the data obtained, and suggestions were made (Figure 4).

## 3. Results and Discussion



Figure 5: Sivrihisar "Rooftop" Solar Heating Systems

According to analysis made in Sivrihisar, it is seen that almost all of these system additions are located on rooftops (Figure 5). By virtue of the field studies, it has been observed that the problems arising in the light of this information increase in areas where roofs can be observed. Considering that the perception of these system additions in a building directly affects its surroundings, the additions included in the buildings also concern the city's whole.

Although the number of monuments and ruins that have not been damaged due to time and human-made effects is quite low, these structures are preserved and registered due to their "rarity" (Ahunbay, 1996). Owing to the cultural values these structures carry, the interventions should be more careful. The interventions made to the registered buildings in Sivrihisar can also be viewed directly from the clock tower and the surrounding panoramic terrace, which is the highest point where the city can be watched in general and which is the most popular tourist area recently. The watchtower directly encompasses the Sivrihisar Urban Site, and the aesthetic concern of the buildings that are included in the city terrace and can be viewed from this area is even more prominent (Figure 6). Solar Heating Systems components can be detected from this terrace at a distance that human eyes can perceive. Although our eyes are capable of detecting the Andromeda Galaxy at a distance of 2.25 million light-years on a cloudless and clear night, our eyes cannot detect more than 20 kilometers in an average day due to dust vapor, pollution, and dust in the air (Villazon, 2012). Since all buildings with a range of up to 20 kilometers can be perceived from the city terrace with our eyes that can see and perceive to this extent, they can affect the city's texture and identity. (Figure 5).

Apart from that, the system elements included in our perspective from the street scale can be given as an example of the aesthetic problems in residential areas. As seen in Figure 7, these system elements can be included in our perspectives for people who are not on the city terrace while walking on the street. System elements on the registered building, which is included in tourists' perspectives wandering in the historical texture, or the system elements present in non-registered buildings, also cause aesthetic problems.

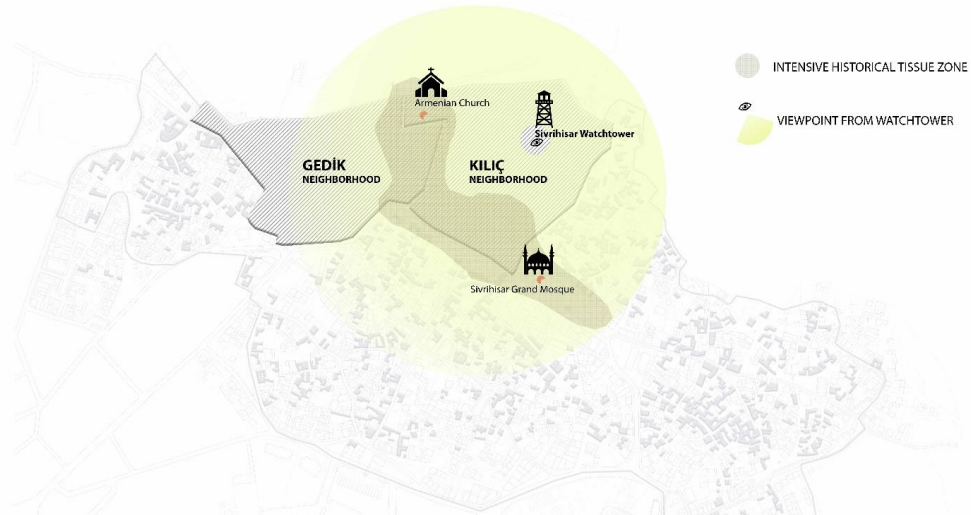


Figure 6. Viewpoint from Sivrihisar Watchtower

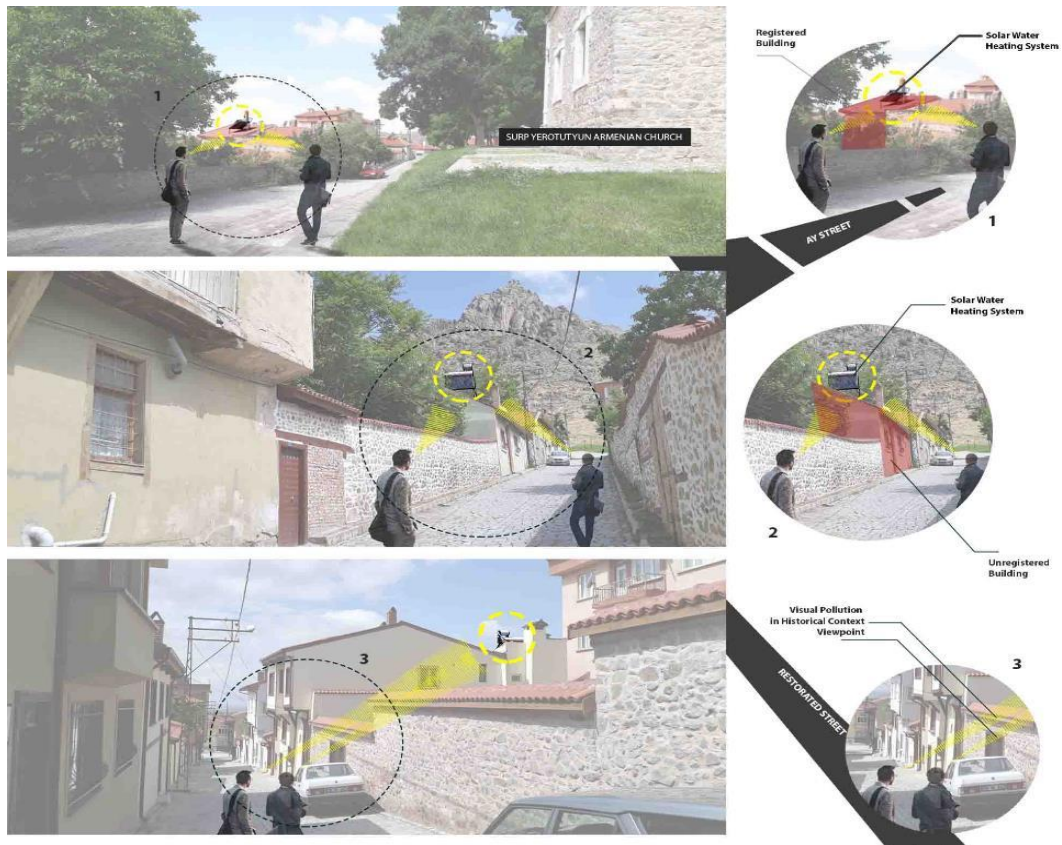


Figure 7. Solar Water Heating Systems in Street View

Sivrihisar's old city texture is scattered over eleven neighborhoods today. It is possible to express this distribution with its main lines: in the north of the city is the Kılıç quarter, which forms the Turkish settlement's core. To the east of it is the Kubbeli, Camii Kebir districts, and the Elmalı neighborhood at the easternmost end of the settlement; the Gedik quarter is located in the west. In the lower part of them, from northwest to southeast, Yenice, Karabaşlı, Karacalar, Cumhuriyet, Demirci, and Kurşunlu neighborhoods are listed (Aksoy, 2014). The distribution of 11 neighborhoods within the urban site is given in Figure 8. When we consider the area in Sivrihisar urban site

scale, it is seen that Kılıç and Gedik Neighborhoods have dominant positions in the historic environment. The intense historical texture zone includes cultural landmarks such as Sivrihisar Great Mosque, Surp Yerotutyun Armenian Church, and Watch Tower, and the relations of this stain with Gedik and Kılıç Neighborhoods are given in Figure 8. The watchtower, the most popular tourist attraction of the city, and the panoramic terrace around it directly enclose these neighborhoods. Field studies conducted on the neighborhood scale enabled the buildings in the region to be explicitly examined. Registered and unregistered buildings within the boundaries of the quarter were

examined one by one, and it was determined whether they have SWHS or not.

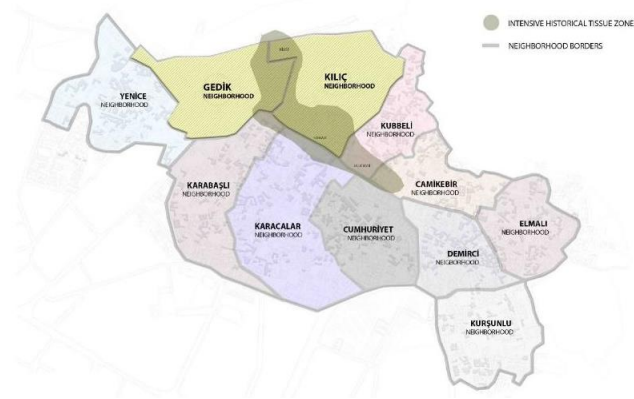


Figure 8. Distribution of the Neighborhoods in Sivrihisar Urban Site

When we consider Kılıç Quarter, which has the watchtower, it can be observed that 15 of 106 registered buildings were used with SWHS. These systems are used in 21 of the 174 buildings without registration (Figure 9). These system additions exist in 36 buildings in total that are within the boundaries of the Kılıç Quarter and can be viewed from the watchtower. Based on the analysis, one building lost its registered feature.

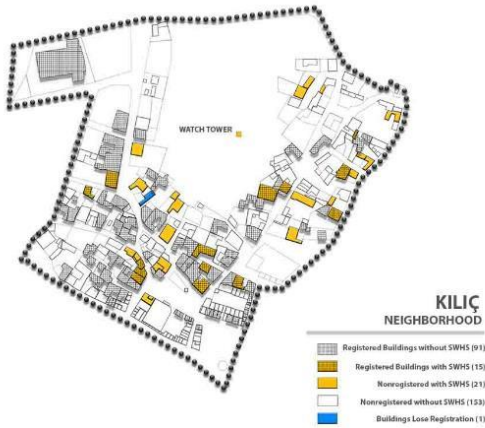


Figure 9. SWHS Distribution Map for Kılıç Neighborhood

When we look at the scale of Gedik Neighborhood, another neighborhood that has a dominant position on the historical texture, while the SWHS was used in 36 of the 191 nonregistered buildings, we encounter 23 SWHS components in 100 registered buildings (Figure 10). We observe that the registrations of two buildings have been dropped. Gedik neighborhood, which is at the border of Kılıç quarter, also has buildings that can be perceived on the watchtower. Most of the 59 buildings that own SWHS are included in the viewpoint over the town.

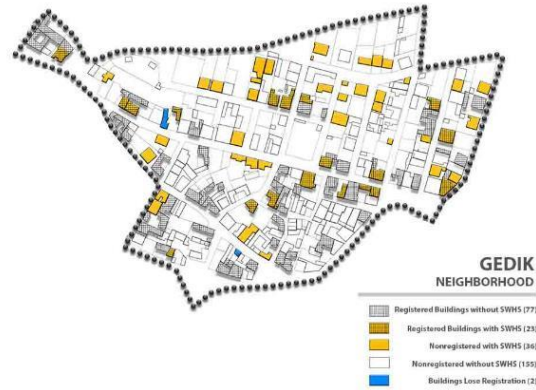


Figure 10. SWHS Distribution Map for Gedik Neighborhood

According to the data obtained from the field study analyzes in these neighborhoods, we reach the information that there are 38 registered buildings with SWSH components. These systems exist in 57 unregistered structures. The systems in these buildings can be easily perceived from the City Terrace. The additions have also reached a detectable level when walking on these neighborhoods' streets within the historical site area, apart from the the city terrace.

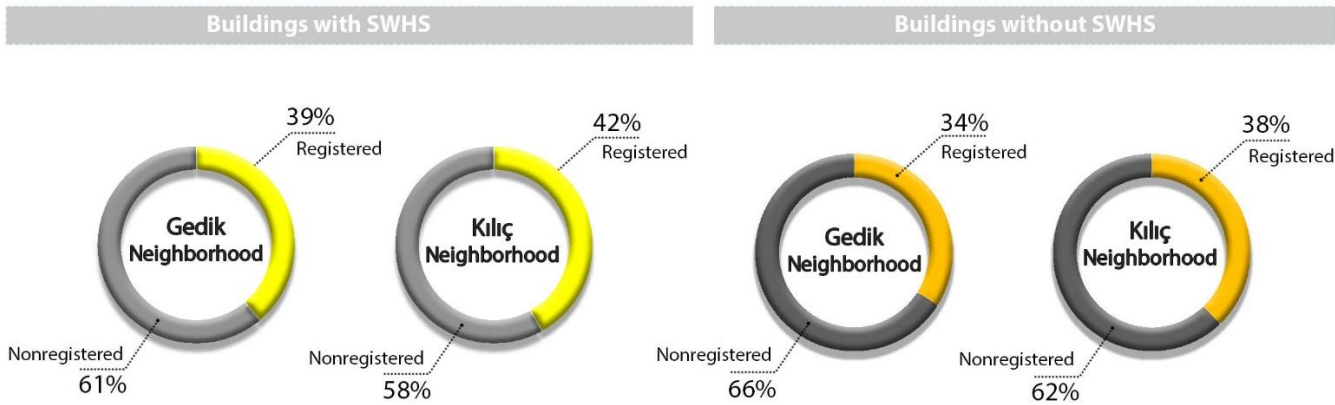




Chart 1. Comparison of Gedik and Kılıç Neighborhoods with Registration Status

While 34% of the buildings that do not own an SWHS component in Gedik District are registered, this rate is 38% in Kılıç District. At the same time, 39% of the buildings where SWHS exists are registered in Gedik District, while this rate is 42% in Kılıç District. According to the comparison of these two neighborhoods, the rate of SWHS occurrence in registered buildings of Gedik Quarter is higher than Kılıç Quarter (Chart 1). As shown in a 4-component comparison of these neighborhoods, in a proportioning practice where all buildings exist, 5% of both registered and buildings with SWHS are found

in the Kılıç District. This rate is 8% in Gedik District. Nonregistered buildings with SWHS in the Gedik neighborhood were determined to be 12% compared to all buildings. In other words, there are SWHS components in one of every five buildings in the Gedik neighborhood. Unregistered and buildings with SWHS in Kılıç District make up 8% of all buildings. In this neighborhood, 13 out of every 100 buildings have SWHS components (Chart 2). According to the data obtained from the graph, Gedik district is under the influence of these components more than Kılıç district.

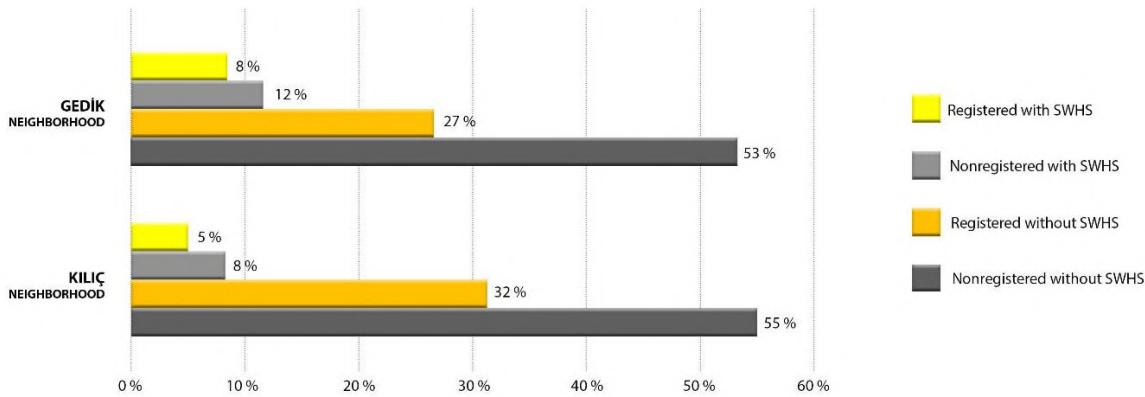


Chart 2. Comparison of Kılıç and Gedik Neighborhoods with 4 Components

## 4. Conclusions and Recommendations

Considering that the use of Solar Water Heating Systems, which is required in a sustainable world from an economic and environmental perspective, will become more widespread in the coming years, these systems should be considered essential architectural elements in buildings. These system mechanisms, which have a dominant factor in the buildings' aesthetics and architecture, will be a topic that needs to be considered, and decisions have to be made for the future. For these reasons, for the unity of these systems included in the sustainability principle, with the structures, a holistic design idea that will be considered with all building elements should be taken. It is crucial in terms of aesthetics and construction to regulate the relations of their existence in the historical texture with the buildings.

For this purpose, the urban scale's historical texture was analyzed with the field studies carried out in Sivrihisar urban site, and specific buildings were examined at the neighborhood scale (Gedik and Kılıç). Although the number of these systems in Sivrihisar Urban Site Area, which is the region where the investigations were carried out, has not yet manifested itself on a large scale in the historical site, it is also possible for the future to spread and capture the urban texture. According to the field study analyzes, even if the registered buildings with SWHS components observe in the minority among the entire buildings, the effects and dominance of these minority buildings on the historical urban fabric could be a problem.

In a possible application for these systems on the Sivrihisar Urban Site, it is crucial that the two leading neighborhoods are Gedik and Kılıç Quarters and then spread these practices throughout Sivrihisar. These local-scale applications; it will be

possible with the recommendations and sanctions to be made on the building scale beforehand.

On the other hand, it has been observed that these systems are located in the south-facing sloping areas of the roofs in order to benefit from the sun more efficiently. For this reason, the aesthetic suggestions to be made to the buildings should start with the roofs. For the roofs, collectors, and storage tanks, some applications such as gathering together, arranging them, ensuring their harmony with the structure can be made. While applying these principles, some methods should be used; hiding systems, evaluating systems as building elements, using systems as building envelopes (pergola, railing, sun breaker) (Sakinç and Sözen, 2008). Except for the roofs, thanks to the outer courtyards of many buildings in this region, these systems can be moved to these regions easily. In this application, although Solar Energy Efficiency is not as high as in roofs, this efficiency difference may be acceptable in historical buildings. Also, some mechanism changes can be beneficial. It is recommended to prefer systems with forced circulation (pump), which do not force the architecture of the storage tank's position, rather than systems with self-circulating systems. Although these systems cost more, their use should be preferred to solve historical buildings' aesthetic problems.

## References

- Ahunbay, Z. (1996). *Tarihi Çevre Koruma ve Restorasyon*, İstanbul: Yem Publishing.
- Aksoy, E. (2014) "Kentsel Gelişimde Ulaşımın Etkinliği: Sivrihisar Örneği". Eskişehir, Türkiye: T.C. Eskişehir Valiliği Yayın No:22.
- Al-Badi, A.H., Al-Badi, M.H. (2012). "Domestic solar water heating system in Oman: Current status and future

- prospects”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 18(8): 5727-5731.
- Arslan, H. M. (2018). “Determination of the Most Effective Solar Energy Water Heating System for Hotel Businesses with Aras and Oreste Methods”, *Dicle University Journal of Social Sciences*. 10(20): 58-69.
- Atak, A., Çabuk, S.N, Bakış, R., Çabuk, A. (2019). “Determination of Suitable Sites for Solar Power Plants by Using Weighted Overlay Analysis: Sivrihisar Case”, *International Journal of Renewable Energy Research*, 9(3): 1203-1213.
- Doğru, H. (1997). “*XV. ve XVI. Yüzyıllarda Sivrihisar Nahiyesi*”, Ankara: Türk Tarih Kurumu Basımevi.
- Energy Efficiency Best Practice Programme (2001). “Solar Hot Water Systems in New Housing”, General Information Report 88.
- Eskişehir Council of Cultural Heritage Conservation (2019). *Sivrihisar Cultural Inventory*, Eskişehir.
- Hestnes, A. G. (1999). “Building Integration of Solar Energy Systems”, *Solar Energy*, 67(4-6): p.181-187, 1999.
- ICOMOS Turkey (2013). “Architectural Heritage Conservation Declaration”.
- Kuban, D. (1973). *Mimarlık Kavramları*, İstanbul: İstanbul Technical University Press.
- Sakınç, E. and Sözen, M. (2008). “An Approach To Evaluate Solar Active Systems As A Design Criterion”, *J. Fac. Eng. Arch. Gazi Univ*, 23(1): 21-31.
- Sakınç, E. and Sözen, M. (2010). “Solar Hot Water System Matter in Turkey (Mersin Case)”, *Megaron Journal*, 5(1): 1-10.
- Shi, J., Su, W., Zhu, M., Chen, H., Pan, Y., Wang, Y., and Wan, S. (2013) “Solar water heating system integrated design in high-rise apartment in China”, *Energy and Buildings*, 58(3): 19-26.
- US Army Corps of Engineers (2002). “Unified Facilities Criteria, Design: Active Solar Preheat Systems”.
- Villazon, L, How far can we see if unobstructed. 2012 April 27; Available from <https://www.howitworksdaily.com/what-is-the-maximum-distance-the-human-eye-can-see-if-unobstructed/>



# Yabancılara Türkçe Öğretiminde Geleneksel ve Teknoloji Temelli Yaklaşımların Değerlendirilmesi

Emre Çalışkan<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Türkçe Eğitimi Anabilim Dalı, Antalya, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-6665-7510), emrelt@gmail.com

(İlk Geliş Tarihi 19 Haziran 2021 ve Kabul Tarihi 13 Kasım 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.954701)

**ATIF/REFERENCE:** Çalışkan, E. (2021). Yabancılara Türkçe Öğretiminde Geleneksel ve Teknoloji Temelli Yaklaşımların Değerlendirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (27), 921-924.

## Öz

Küresel dinamiklerin etkisi ile insanların iş, eğitim, sağlık ve gezi gibi çeşitli amaçlarla başka ülkelere seyahat etmeleri her geçen gün artmaktadır. Şüphesiz insanların ziyaret ettikleri veya yaşadıkları diğer ülkelerde yaşadıkları en büyük zorluk dil konusunda olmaktadır. Yaşanan ülkenin kültürünü tanımak ve sağlıklı iletişim kurmak için dil öğrenimini bir gerekliliktir. Bu gereklilikten dolayı dil öğrenimine olan talep her geçen artmakta ve gerek bireyler gerekse devletler dil öğrenimi ve öğretimine önemli yatırımlar yapmaktadırlar. Eğitim başta olmak üzere, sağlık, turizm ve iş olanaklarının yüksek olmasından dolayı yabancılar tarafından yoğun şekilde tercih edilen Türkiye de şüphesiz dil öğrenimi anlamında önemli yatırımların yapıldığı ülkelerden biridir. Çeşitli sebeplerle Türkiye'ye gelen yabancılar, yaşayacakları ülkenin dilini öğrenmek için üniversitelerden, kurslardan ve teknolojik imkanlardan yararlanmaktadırlar. Bu çalışmada Türkçe Öğretim Merkezi (TÖMER) aracılığı ile Türkçe öğrenen yabancılarla görüşülmüştür. Çalışma TÖMER özelinde yabancılara Türkçe öğretiminde geleneksel ve teknoloji temelli yaklaşımların karşılaştırmalı değerlendirilmesi yapılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Türkçe, Eğitim, Teknoloji, Dil, Öğretim

## The Evaluation of Traditional and Technology-Based Approaches in Teaching Turkish to Foreigners

### Abstract

With the influence of global dynamics, people's travel to other countries for various purposes such as business, education, health, and travel is increasing day by day. The biggest challenge people face in other countries they visit or live in is in language. Language learning is a necessity to get to know the culture of the country and to communicate healthily. Due to this requirement, the demand for language learning is increasing day by day, and both individuals and governments are making significant investments in language learning and teaching. Republic of Turkey where is heavily preferred by foreigners due to its high health, tourism, and business opportunities, especially education, is one of the countries where significant investments are made in terms of language learning. Foreigners who come to Turkey for various reasons go to universities, courses and get the help of technological facilities to learn the language of their country of life. In this study, a semi-structured interview technique was applied to foreigners learning Turkish through Alanya Alaaddin KeykubatUniversity (ALKU) Turkish Teaching Center (TÖMER). The study was carried out in order to evaluate comparatively whether foreign students studying at ALKU TÖMER found traditional language learning methods or technology-based approaches more useful when learning Turkish as a foreign language.

**Keywords:** Turkish, Technology, Language, Teaching

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

## 1. Giriş

İnsanlar, gelişen dünya ile yeni iş fırsatlarını değerlendirmek, iyi eğitimler almak, sağlık imkanlarından faydalanmak ve yeni kültürler tanımak için başka ülkelere seyahat etmekte ve kendi ülkeleri dışında yaşamayı tercih etmektedirler. Yabancı bir ülkeye adapta olabilmek için de o ülkenin kültürü, coğrafyası, ekonomisi ve dili konusunda bilgi sahibi olmak gerekmektedir. Bu etkenler içerisinde dil yabancı bir ülkede toplumsal etkileşimi ve iletişimi geliştirmek adına önemli bir yer tutmaktadır. İnsanlar, gittikleri ülkenin diline hâkim olduklarında o ülkeye karşı yabancılaşma hisselerini azalacak böylece; sosyal, kültürel ve ekonomik anlamda daha etkin olabileceklerdir.

Dil öğrenmenin öneminin artmasına paralel olarak dil öğretimine yönelik hayata geçirilen imkanlar da aynı oranda artmaktadır. Gerek dil öğretiminde gerekse dil öğrenim sürecinde amaca ulaşmak için öğretmen bilgi ve tutumları, kullanılan öğrenme araçları önemli rol oynamaktadır (Akdağ 2007). Yakın geçmişe kadar ağırlıklı olarak dil öğretiminde geleneksel yaklaşımlar olarak nitelendirilen dilin yapısı ve dil bilgisi kurallarına ağırlık veren daha çok ezberlemeyi önceleyen yöntemler kullanılmaktaydı. Dil öğrenimi için bireyler geleneksel yöntemlerin uygulandığı kurslara gitmekte veya özel ders almaktaydı. Geleneksel dil öğretim süreci sistematikleşmiş bakıldığında; öğrenciyi istenen dil düzeyine ulaştırmak için müfredattaki konuların, kolaydan daha karmaşığa, somuttan soyuta doğru birbirini izleyecek şekilde programlandığı ve bunun da dil öğretim sisteminin temelini oluşturan ilkeler olarak karşımıza çıktığı görülmektedir (Demirel, 2003).

Geleneksel dil öğrenimi denince ilk akla gelen ve en çok tercih edilen yerler yabancı dil öğretim kurslarıdır. Bu kurslar öğrencilere; sosyalleşmeye olanak sunması, pratik yapma imkânlarının olması ve rekabetin itici gücünün öğrenmeyi artırıcı etkisinden faydalanılması gibi avantajlar sunmaktadır. Bu avantajlarının yanı sıra; uzun zaman gerektirmesi, fiyatlarının fazlalığı, öğrenci sayısının çok olması nedeniyle yaşanabilecek öğrenme güçlüğü ve kaçırılan derslerin telafisinin olmaması gibi etkenler göz önünde bulundurulduğunda dezavantajları da azımsanmayacak orandadır.

Dil öğretim yöntemlerinde amaç öğrenciyi hedefe en hızlı ve güvenli şekilde ulaştırmaktır. Bu noktada, bilişim çağı olarak nitelendirilen günümüzde, öğrenciyi hedefe en hızlı şekilde ulaştırmak adına geleneksel dil öğretim yöntemlerinin yerini teknoloji temelli, modern öğretim yöntemlerinin aldığı görülmektedir. Artık teknoloji, öğrenci yaşamının önemli bir parçası haline gelmiştir. Birçok öğrenci bilgiye erişmek ve bunu kullanmak üzere web tabanlı öğrenmeyi tercih etmektedir (Benson & Avery, 2009). Bilgisayar ve internet teknolojisi sayesinde dil öğrenmek isteyen bireyler mesafeden bağımsız olarak istedikleri kaynaklara ve kişilere erişebilmektedirler (Yaman & Bozdemir, 2005).

Dil öğretiminde teknoloji odaklı öğrenme yaklaşımının daha etkin, zevkli, multidisiplinli dolayısıyla daha faydalı olduğuna dair yapılan birçok çalışma bulunmaktadır:

Teknolojinin dil öğrenme eğitimini değiştirdiğine dikkat çeken Arslan, gençlerin teknoloji kullanımına yatkın olmasından dolayı sanal ortamda dil öğrenme üzerine gerçekleştirilen etkinliklerinin her geçen gün arttığını söyleyerek; ilerleyen

teknolojik gelişmelerle birlikte dil öğretiminde geleneksel yöntemlerle yapılan işleme, anlama, okuma ve yazma gibi etkinlikler için teknolojinin iyi bir yardımcı olabildiğine vurgu yapmıştır (Arslan, 2009).

Fransızcanın yabancı dil olarak öğretiminde çoklu-ortamlı yazılımlarının yeri ve işlevi üzerine bir çalışma yapan Kartal çalışmasında; çoklu-ortam yazılımlarının iyi bir birikim olduğunu ve zamanla öğretmenin rolünü geliştirip değiştirdiğini belirtmiştir. Bunun yanında bazı eksiklerinin olduğunu ve bunun da zamanla geliştirilebileceğini ifade etmiştir (Kartal, 2005).

Çalışmasında teknolojinin hızlı bir şekilde evrim geçirdiğinden bahseden Kessler, teknolojinin öğrenmeyi ve sosyal etkileşime sağladığı katkıdan dolayı öğretmenler tarafından dil öğretiminde her geçen gün daha fazla kullanıldığından bahsetmiştir. Teknoloji, dil öğretiminde kullanılmak istendiğinde çok fazla seçeneğe sahiptir. Arttırılmış gerçeklik, yapay zekâ, büyük veri analitiği, sosyal medya bunlardan bazılarıdır. Bu kavramlar günlük hayatımızın birçok yerinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Kessler, 2018).

Yabancı dil öğretiminde sosyal medyanın ve teknolojik imkanların etkisini inceleyen Taş ve Uğurlu, özellikle akıllı telefon kullanımındaki artışın ortak bir öğrenim amacı ile bir araya gelen grupların sayısının arttırdığına dikkat çekmiştir. Yabancı dil öğretiminde öğrencilerin ilgisini ve motivasyonunu arttırmak için teknolojinin önemli bir etken olduğunu; ayrıca öğrencilere birlikte çalışma yani etkileşim fırsatları sunabileceğini belirtmiştir (Taş & Uğurlu, 2019).

Chilingaryan ve Zvereva çalışmalarında yabancı dil öğretiminde teknoloji temelli eğitimin sağladığı faydalara değinmiştir. Yabancı dil öğretiminde teknolojiden faydalanan öğrencilerin diğer öğrencilere göre dile daha çok hâkim oldukları böylece daha başarılı olduklarını ortaya koymuşlardır. Bunun yanında teknolojinin öğrencileri çalışmalarına motive ettiği ve daha başarılı olmalarını sağladığı görülmüştür (Chilingaryan & Zvereva, 2017).

Çalışmalarında İngilizce öğretiminde teknolojinin önemine ve avantajlarına değinen Shyamlee ve Phil, öğrenmede multimedya kullanımının gerekliliğine vurgu yapmıştır. Teknolojinin uygulamalı öğrenme becerilerini geliştireceğini ve etkileşimli iletişim yeteneğini arttırdığına dikkat çekmiştir (Shyamlee & Phil, 2012).

Yabancı dil öğretiminde bilgi iletişim teknolojilerinin önemine değinen İsisag, küreselleşen dünyada yabancı dil eğitiminin modern araçlara göre kendini yenilemek zorunda olduğunu dile getirmiştir. Bilgi teknolojilerinin eğitime uygun bir şekilde uyarlanması eğitimin kalitesini arttıracak ve daha geniş bir erişim ağı sağlayacaktır. Böylece yaşam boyu öğrenme süreci gelişecektir. Bunun yanında teknoloji odaklı öğrenme öğrencilerin daha hızlı ve başarılı bir öğrenme sağlamalarına olanak sağladığına değinmiştir (İsisag, 2012).

Açıkgöz ve Yalman çalışmalarında teknolojinin özellikle oyunların çocukların öğrenme yetenekleri ve sosyal iletişimleri üzerinde olumlu ve olumsuz etkilerini gösteren bir çalışma gerçekleştirmişlerdir (Yiğit Açıkgöz & Yalman, 2018).

İngilizce öğretiminde bilişim teknolojileri kullanımını inceleyen Çakıcı, bilişim teknolojileri sayesinde yabancı dil öğrenen öğrencilerin çeşitli iletişim araçları ile etkileşim kurma şansı bulduklarını, böylece üst düzey becerilerini kullanma şansı yakalayarak; eleştirel düşünme yeteneği kazandıklarını ve bilgi

işleme yeteneklerini kuvvetlendirdiklerini ifade etmişlerdir (Cakici, 2016).

Yabancı dil öğretimi konusunda yapılan çalışmalara ek olarak; bu çalışmada da TÖMER’ler özelinde “Yabancı Dil Olarak Türkçe Öğreniminde geleneksel ve teknoloji temelli yöntemlerin avantaj ve dezavantajları karşılaştırmalı olarak ortaya konmaya çalışılmıştır. Çalışmaya katılan öğrenciler Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi’nde eğitim alan C1 düzeyi öğrencilerden oluşmaktadır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Araştırmanın Amacı ve Veri Toplama Aracı

Dil öğretiminde izlenecek olan yol, öğrenciyi amacına en hızlı ve en doğru şekilde ulaştıracak en önemli unsurdur. Bu amaçla günümüze kadar dil öğretimine yönelik birçok yöntem geliştirilmiştir. Lakin birçok uygulayıcı ve araştırmacı tarafından hangi yöntem ya da yöntemlerin en uygun olduğu yönünde görüş ayrılıkları bulunmaktadır. Bu çalışmada da Türkçenin yabancı dil olarak öğretiminde geleneksel ve teknoloji temelli öğretim teknikleri kıyaslanmaya çalışılarak, Türkçe öğrenen yabancı öğrenciler için teknoloji yardımı almanın uygunluğu ve geleneksel öğrenmeye göre avantaj ve dezavantajlarını belirlemek amaçlanmıştır. Bu doğrultuda katılımcıların görüşlerini ayrıntılı bir şekilde ifade etmelerine olanak sağlamak amacıyla Yıldırım ve Şimşek’in (2008) de, nitel araştırmalarda sıklıkla tercih edilen veri toplama aracı olarak nitelendirdiği görüşme tekniği aracılığıyla veriler toplanmıştır.

Araştırma kapsamında, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi TÖMER bünyesinde eğitim alan öğrencilerden gönüllük esasına göre 20 kişiyle yarı yapılandırılmış mülakat tekniği uygulanarak görüşmeler yapılmıştır. Görüşmede öncelikle, demografik özellikler ile öğrenme kabiliyet ve tercihleri arasında anlamlı bir ilişki olup olmadığını ölçmek için görüşmecilerin demografik özelliklerine ilişkin bilgiler istenmiştir. Ardından görüşmecilere, okuma becerilerini geliştirmek adına kitap, gazete gibi basılı yayınları mı yoksa teknolojik aygıtlar üzerinden okuma yapmayı mı daha etkin buldukları, bilgisayar ortamında klavye aracılığı ile mi yoksa manuel yazma becerisini mi tercih ettikleri, dinleme becerisi için yüz yüze diyalog mu yoksa, dijital platformları mı tercih ettikleri, konuşma becerisini geliştirmek için sınıf içi konuşmalarını yoksa dijital mecralar üzerinden pratik yapmayı mı etkin buldukları yönünde sorular yöneltilmiştir.

Görüşmecilerden gelen yanıtlar ışığında 5 ana tema belirlenerek, görüşmecilerin yanıtları literatür doğrultusunda yorumlanmıştır.

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Bu bölümde katılımcılar ile yapılan görüşmeler sonucunda elde edilen veriler, temalar halinde ele alınarak ilgili literatür ışığında yorumlanmıştır. Görüşme yapılan kişilerin özellikleri Tablo-1’de, görüşmecilerin verdikleri yanıtlar çerçevesinde oluşturulan temalar ise Tablo-2’te verilmiştir.

Tablo-1 Görüşmecilerin Özellikleri

Demografik Özellikler		Sayı
Cinsiyet	Kadın	7
	Erkek	13
Yaş	Ortalama	19 yıl
Uyruk	Afrika	5
	Orta Asya	9
	Rusya Bölgesi (Ukrayna, Çeçenistan, Gürcistan)	6

Görüşmeye katılanların yaş ortalaması 19’dur. Görüşme yapılan 20 kişinin ülkeleri ise en çok Asya, Rusya ve Afrika bölgesi olmak üzere değişmektedir.

Tablo-2 Görüşme kapsamında oluşturulan temalar

Tema-1	TÖMER öncesi Türkçe bilgisi
Tema-2	Dört temel dil becerisini geliştirmede tercih edilen yöntem
Tema-3	Kullanışlılık açısından tercih edilen yöntem
Tema-4	Tercih edilen teknolojik aygıt
Tema-5	Öneriler
Tema-5	Öneriler

**Tema 1:** TÖMER öncesi Türkçe bilgisi teması altında katılımcılara; TÖMER’de eğitim almadan önce Türkçe bilginiz ne düzeydeydi? Daha öncesinde online ortamda Türkçe öğrenme girişiminiz oldu mu? Olduysa sınıf içi Türkçe öğretimi ile karşılaştırma yapabilir misiniz? Şimdiki eğitimimize ya da Türkiye’de daha rahat iletişim kurmanıza yarayıp yaramadığı konusunda değerlendirir misiniz? gibi sorular yönelmiştir. Katılımcıların sadece 5’i daha önce Türkçe bilgilerinin hiç olmadığını geriye kalanlar ise A1 ve A2 düzeyde Türkçe bilgisine sahip olduklarını belirtmişlerdir. Yine aynı tema altında katılımcıların 6’sı daha önce online ortamlarda hiç Türkçe öğrenme tecrübesinin olmadığını söylerken, geriye kalan katılımcılar ise daha önce online ortamda kendi çabaları ile Türkçe öğrenme deneyimlerinin olduklarını söylemişlerdir. Daha önce online ortamda Türkçe deneyimi yaşayan katılımcılara, bu deneyimlerini geleneksel öğrenme yöntemi olarak tanımlanan TÖMER aracılığı ile aldıkları sınıf içi öğrenme ile kıyaslamaları istenmiştir. Katılımcılar, daha önceki online Türkçe deneyimlerinin sınıf içi çalışmaları kolaylaştırdığını söylerken her iki öğrenme şeklinin kendilerine katkısını ayrı ayrı değerlendirmeleri istendiğinde ise sınıf içi yöntemle dil öğrenmeyi daha verimli bulduklarını söylemişlerdir. A18 olarak kodlanan katılımcı online dil öğrenme şeklinin kedinin tembelleştirdiğini söylerken, A3 olarak kodlanan katılımcı da sınıf içi öğrenmenin motivasyonunu daha yüksek tuttuğunu bu nedenle daha verimli olduğunu dile getirmiştir.

**Tema 2:** Dört temel dil becerisini geliştirmede tercih edilen yöntem altında katılımcılara; okuma, yazma, dinleme ve konuşma becerilerini geliştirmek için geleneksel yöntem araçlarını mı yoksa teknoloji temelli araçları mı daha etkin ve verimli buldukları yönünde sorular yöneltilmiştir. Katılımcılardan 5’i Türkçe öğrenirken okuma becerisini geliştirmek için; kitap, gazete dergi gibi matbu kaynakları tercih ettiklerini söylerken, 6’sı teknoloji odaklı öğrenmeyi geriye kalanlar ise her ikisini de ortak kullanmayı daha uygun bulduklarını belirtmişlerdir. Aynı tema altında katılımcıların 9’u

yazma becerilerini geliştirmek için manuel olarak bilinen kâğıt kalem ile yazmayı daha verimli bulduğunu belirtirken, 7'si online ortamda yazmayı tercih ettiklerini, 4 katılımcı ise her ikisinin de kendileri için farkı bulunmadığını belirtmişlerdir. A3 olarak kodlanan katılımcı online yazma şeklini tercih etme sebebinin hataların otomatik olarak düzeltilme olanağının olması şeklinde aktarmıştır. Katılımcılardan 10'u dinleme becerisini geliştirmek için yüz yüze yapılan eğitimi daha etkin bulduklarını söylerken, 7'si dijital ortamda dinlemenin daha etkin, 3'ü ise her ikisinin de birbirini tamamladığını söylemiştir. A14 olarak kodlanan katılımcı özellikle yeni başlayanlar için video kayıtların tekrar tekrar dinleme olanağı sunduğu için daha verimli olduğunu belirtmiştir. Türkçe konuşma becerisini geliştirmek için online konuşma yöntemlerini yoksa sınıf içi yüz yüze konuşma yöntemlerini sizin için daha verimli oluyor diye sorulan katılımcılardan 18'i sınıf içi yüz yüze konuşmayı daha etkin bulduklarını söylemiş geriye kalan iki katılımcı ise ikisinin de kendileri için önemli bir fark oluşturmadığını söylemiştir.

**Tema 3:** Kullanışlılık açısından tercih edilen yöntem teması altında katılımcılara; geleneksel öğrenme metotları ile teknoloji odaklı öğrenme yöntemleri kıyaslandığında Türkçe öğrenmede zamanı daha verimli kullanmak ve kullanılabilirlik olarak hangisini tercih edersiniz? Soruları yönetilmiştir. 10 katılımcı geleneksel yöntemleri, 8 katılımcı teknolojik aygıtların daha kullanışlı bulunduğunu söylerken, 2 katılımcı ise her iki yöntemin de yerinin ayrı olduğunu belirtmiştir.

**Tema 4:** Tercih edilen teknolojik aygıt teması altında katılımcılara; teknolojik araçlardan (bilgisayar, tablet ve akıllı telefon vb.) hangisi ya da hangilerinin Türkçe öğrenmek için daha uygun olduğunu düşündüklerini sorulmuştur. Katılımcılardan 8'i büyük ekranda ders çalışmanın daha kolay olduğunu düşündükleri için bilgisayarın kendileri için daha iyi bir öğrenme aracı olduğunu söylerken, 12 katılımcı her yere götürebileceği bulunduğu için telefonun daha kullanışlı olduğunu söylemişlerdir.

**Tema 5:** Son olarak öneriler teması altında ise katılımcılara Türkçe öğrenme gayreti ya da istediği içinde olanlara kendi tecrübeleri ışığında herhangi bir önerilerinin olup olmadığı sorulmuştur. Katılımcılar öneri yoğunluğu sırasına göre; pratik yapmayı, Türkçe yayınları izlemeyi, kurslardan eğitim almayı Türkçeyi yeni bir dil olarak öğrenecek kişilere önermişlerdir.

## 4. Sonuç

Jeopolitik özelliklerinden dolayı Türkiye her zaman farklı milletlerin dikkatini çekmiş bir ülkedir. Günümüzde de çeşitli nedenlerle dünyanın dört bir yanından insanlar Türkiye'ye gelmektedir. Özellikle son yıllarda yüksek öğretim alanında yaşanan olumlu gelişmeler eğitim almak için ülkemize gelen öğrencilerin sayısını her geçen gün arttırmaktadır dolayısıyla, yabancılar Türkçe öğretimi konusu da oldukça kritik bir konu olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu noktadan hareketle bu çalışmada, TÖMER bünyesinde Türkçe eğitimi alan öğrencilerin, Türkçe öğrenim süreçlerinde geleneksel öğrenme yöntemlerini mi yoksa, dijital yöntemler aracılığıyla Türkçe öğrenme yöntemlerini mi daha etkin buldukları sorgulanmıştır. Literatür kısmında da belirtildiği üzere, dil öğreniminde teknoloji temelli öğrenmenin önemi üzerine birçok çalışma yer almaktadır. Örneğin; dil öğretiminde teknolojinin entegrasyonu üzerine bir çalışma gerçekleştiren Al-Kadi çalışmasında, öğrenci ve bilişimi öğretimin merkezine alan modellerin geleneksel yaklaşım olan öğretmen ve kitap merkezli modellerin yerine

geçtiğinden bahsetmiştir. İngilizce öğretiminde bilgisayar ve mobil destekli öğrenme ekseninde gerçekleşen eğitimlerin öneminden ve etkinliklerinden bahsetmiştir (Abdu, 2018). Golonka ve arkadaşları, 350'den fazla çalışmayı gözden geçirdikleri çalışmalarında yabancı dil öğreniminde teknoloji kullanımının etkililiğine dair kanıtları sunmuşlardır. Bahadorfar ve Omidvar çalışmalarında yabancı dil öğreniminde en zorlanılan ve endişe duyulan beceri olan konuşma becerisi konusunda teknolojinin sağladığı avantajlara değinmiştir. (Bahadorfar & Omidvar, 2014). Bu çalışmaların aksine Türkçe'nin yabancı dil olarak öğreniminde geleneksel yöntemlerin tercih edildiği görülmektedir.

## Kaynakça

- Abdu, A.-K. (2018). A review of technology integration in ELT: From CALL to MALL. *Language Teaching and Educational Research*, 1(1), 1-12.
- Açıkgöz, F.Y., & Yalman, A. (2018). Dijital oyunların çocukların kişilik ve davranışları üzerinde etkisi: Gta 5 oyunu örneği. *Akdeniz Üniversitesi İletişim Fakültesi Dergisi*, (29), 163-180.
- Arslan, M. (2009). Türkiye'de yabancı dil edinim sorunu ve yabancı dil olarak Türkçe. Paper presented at the 1st International Symposium on Sustainable Development.
- Bahadorfar, M., & Omidvar, R. (2014). Technology in teaching speaking skill. *Acme International Journal of Multidisciplinary Research*, 2(4), 9-13.
- Benson, V., & Avery, B. (2009). Embedding web 2.0 strategies in learning and teaching. In *Web 2.0* (pp. 1-12): Springer.
- Cakici, D. (2016). The use of ICT in teaching English as a foreign language. *Participatory Educational Research*, 4(2), 73-77.
- Chilingaryan, K., & Zvereva, E. (2017). Methodology of flipped classroom as a learning technology in foreign language teaching. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 237, 1500-1504.
- Demirel, Ö. (2003). *Yabancı dil öğretimi*. İstanbul: Pegem Yayıncılık.
- Golonka, E. M., Bowles, A. R., Frank, V. M., Richardson, D. L., & Freynik, S. (2014). Technologies for foreign language learning: A review of technology types and their effectiveness. *Computer assisted language learning*, 27(1), 70-105.
- Isisag, K. U. (2012). The positive effects of integrating ICT in foreign language teaching. Paper presented at the International Conference Proceedings. *ICT for Language Learning*.
- Kartal, E. (2005). Çoklu-ortamlı yazılımların Fransızcanın yabancı dil olarak öğretimindeki yeri ve işlevleri. *Uludağ Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 18(2), 231-244.
- Kessler, G. (2018). Technology and the future of language teaching. *Foreign language annals*, 51(1), 205-218.
- Shyamlee, S. D., & Phil, M. (2012). Use of technology in English language teaching and learning: An analysis. Paper presented at the International Conference on Language, Media and Culture.
- Taş, S., & Uğurlu, M. (2019). Dil eğitiminde teknoloji ve sosyal medya etkisi. In: İstanbul: Gece Akademi.
- Yaman, M., & Bozdemir, O. (2005). *Yabancı Dil Öğreniminde Teknolojik Yaklaşımlar*. Atatürk Üniversitesi Kazım Karabekir Eğitim Fakültesi Dergisi (12), 219-235.
- Göçen, G. (2020). Türkçenin yabancı dil olarak öğretiminde yöntem. *RumeliDE Dil ve Edebiyat Araştırmaları Dergisi*, (18), 23-48. DOI: 10.29000/rumelide.705499.
- Yıldırım, A. ve Şimşek, H. (2018). *Sosyal Bilimlerde Nitel Araştırma Yöntemleri*, Seçkin Yayınevi, Ankara



## Vegetation cover-wind erosion correlation: A case study

Mücahit Karaoğlu<sup>1\*</sup>, Erhan Erdel<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Iğdır University, Agricultural Faculty, Department of Soil Science and Plant Nutrition, Iğdır, Turkey, (ORCID: 0000-0002-7388-9192), mucahit.karaoglu@igdir.edu.tr

<sup>1</sup>Iğdır University, Agricultural Faculty, Department of Soil Science and Plant Nutrition, Iğdır, Turkey, (ORCID: 0000-0002-8011-9452), erhan.erdel@igdir.edu.tr

(First received 21 June 2021 and in final form 13 November 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.955460)

**ATIF/REFERENCE:** Çelik, A., Akça, E. 2021. Description of the quarter-century effect of conversion from rainfed Farming to irrigated farming on a micromorphological scale. *European Journal of Science and Technology*, (27), 925-934.

### Abstract

Plants, indispensable in all respects for other living things, are also indispensable for the inanimate soil on which they grow and feed. A land devoid of vegetation is vulnerable both in terms of itself and the many animal species living there. In this study the relationship between vegetation cover and wind erosion processes was investigated. A total of 57 soil samples were taken in different ways from areas protected and unprotected from wind erosion in Iğdır-Aralık, which is the second largest wind erosion area in Turkey. For physical and chemical analyses of the samples, texture, carbonate, pH, aggregate stability, organic matter, and electrical conductivity values were determined after dry sieving with 2 mm, 1 mm, 0.84 mm, 0.42 mm, 0.106 mm, 0.020 mm and <0.020 mm sieve values. According to Duncan multiple comparison test results, most of the data were found to be statistically insignificant. These results revealed that the percentage of vegetation cover and conservation practices in study area are insufficient.

**Key words:** Vegetation cover and percentage, wind erosion, erodible aggregates, Iğdır-Aralık.

## Bitki örtüsü-rüzgâr erozyonu ilişkileri: Bir durum çalışması

### Öz

Diğer canlılar için her bakımdan vazgeçilmez olan bitkiler, üzerinde büyüyüp beslendiği cansız toprak için de vazgeçilmez bir canlı türüdür. Bitki örtüsünden yoksun bir toprak hem kendisi hem de içinde barındırdığı pek çok hayvan türleri açısından savunmasız durumdadır. Bitki örtüsü ile rüzgâr erozyon süreçleri arasındaki ilişkinin araştırıldığı bu çalışmada Iğdır-Aralık'ta yer alan, Türkiye'nin ikinci büyük rüzgâr erozyon sahasının koruma çalışmaları yapılmış ve korumasız bölümlerinden farklı şekillerde 57 toprak örneği alınmıştır. Alınan örnekler üzerinde yürütülen fiziksel ve kimyasal analizlerde tekstür, kireç, pH, agregat stabilitesi, organik madde ve elektriksel iletkenlik değerleri; kuru elemelerde 2 mm, 1 mm, 0.84 mm, 0.42 mm, 0.106 mm, 0.020 mm ve <0.020 mm değerleri belirlenmiştir. Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre elde edilen verilerin büyük bir çoğunluğu istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Bu sonuçlar çalışma alanında bitki örtü yüzdesinin ve koruma önlemlerinin yetersiz olduğunu ortaya koymuştur.

**Anahtar kelimeler:** Bitki örtüsü ve yüzdesi, rüzgâr erozyonu, aşınabilir agregatlar, Iğdır-Aralık.

\* Corresponding Author: [mucahit.karaoglu@igdir.edu.tr](mailto:mucahit.karaoglu@igdir.edu.tr)

## 1. Introduction

Seeing the soil as bare and inefficient and polluting it irresponsibly is a source of great shame for humanity as the soil serves as a home for many plant and animal species and directly and indirectly provides for many human needs. Despite the geometric increase in the world's population, the soil amount, especially fertile soil, remains the same and even decreases due to many reasons, especially accelerated erosion.

Soil fertility is related to soil quality. Soil quality is expressed as the physical, chemical, and biological properties of the soil. An important feature that should be known to evaluate soil quality and ensure plant growth is soil fertility [1]. Plants have direct and indirect effects on improving soil fertility and, as a result, soil quality and soil change processes. [2].

Soil has a continuous dynamic structure; that is physical and chemical events do not end. The multiplier effect of climate events on soil mobility directs those who deal with agriculture and soil to examine vegetation because the existence and density of vegetation is a reality that cannot be ignored for rich soil development in every aspect. In addition, one of the important tasks of some vegetation species is to meet the need for animal feed [3, 4].

In many countries around the world and especially in Turkey, insufficient vegetation is a serious agricultural and environmental problem. However, a bigger problem than this is negative behaviour such as anthropogenic forest fires, excessive and early grazing, lack of awareness and insensitivity to erosion. All these negative aspects cause a decrease in the existing vegetation cover and especially species and their density and therefore the amount of feed [5] in pastures managed without awareness. Consequently, the economic value of these plants decreases.

The most important cause of erosion, or more precisely accelerated erosion, is the devastation or destruction of vegetation which is indispensable for the soil and protects the soil and other living things in the soil like an umbrella. It was reported [6] that 432.2 million hectares of land in the world are threatened by wind erosion and these areas vary according to different factors (continents, climatic conditions, etc.). Wind erosion is particularly effective and dangerous in regions with arid and semi-arid climates. Wind erosion can also have negative effects on large areas like water erosion depending on the strength and continuity of the wind causing more soil material to be displaced. Worldwide the transport of soil particles by wind is also recognized as a serious environmental [7] and health problem.

It was stated that wind erosion is observed in approximately 500,000 hectares of land, ranging from mild to very severe in our country, and approximately 70% of this area is within the borders of Konya province [8]. In this study, which was carried out to investigate how vegetation affects wind erosion processes in Iğdır-Aralık, which is known as the second largest wind erosion area in Turkey, the analysis of soil samples and dry sieving results taken from different vegetation conditions, including where protective measures were applied but are

currently abandoned, and control samples taken from bare soils were statistically compared and interpreted.

## 2. Material and Method

### 2.1. Materials

#### 2.1.1. Soil samples

Disturbed soil samples used in the study were taken from surface soils were in protected and unprotected parts (located between 394752.4; 394720.9; 394950.1; 394906.7 northern latitudes and 443529.9; 443415.8; 443222.2; 443119.8 eastern longitudes) of Iğdir-Aralık wind erosion area [9]. Iğdir-Aralık is Turkey's second largest wind erosion area and covers 13,554 hectares [10] to a depth of 0-5 cm [11], which is the most important level in terms of wind erosion. The proportion of aggregates in the uppermost part of the soil (2.54 cm) is defined as wind-erodible particles (EF) [12, 13], and therefore surface soil properties are emphasized in studies about wind erosion.

#### 2.1.2. Vibratory dry sieving device

A Retsch AS 200 basic brand vibrating dry sieving device was used to determine the wind erosion sensitivity of surface soil samples and particle size distribution and to obtain soil particle fractions with different sizes as percentages. Sieves of 2 mm, 1 mm, 0.840 mm, 0.420 mm, 0.106 mm, and 0.020 mm diameter sieves were used [14]. Dry sieving is a standard method for determining some parameters related to soil aggregation and susceptibility to wind erosion. [15]. The size and durability of soil aggregates is the most important factor affecting soil sensitivity to wind erosion [16].

### 2.2. Method

#### 2.2.1. Soil sampling

In the Iğdir-Aralık wind erosion area, three different methods were used to sample soil and investigate whether the existing but insufficient vegetation has an effect or not on erosion caused by strong winds between March and October:

Case 1: Acacia (*Acacia albida*) trees 2.5-3 m tall were planted at 25 m intervals [17] in double row strips and the space between the strips were 1.5 m. Three samples and 3 repetitions at 75 m intervals from the middle of the double row strips; 3 samples and 3 repetitions at intervals of 75 m from the inside of the strips; randomly, and 3 control samples from bare soils (Figure 1) for comparison were collected for a total of 21 (7x3) samples. Considering that preservation would be higher while sampling inside the strips, sampling began from the 2nd strip, from the middle of the 1st and 2nd strips while sampling between the double row strips. In other words, the samples were taken from northwest to southeast and the first samples from southwest to northeast.



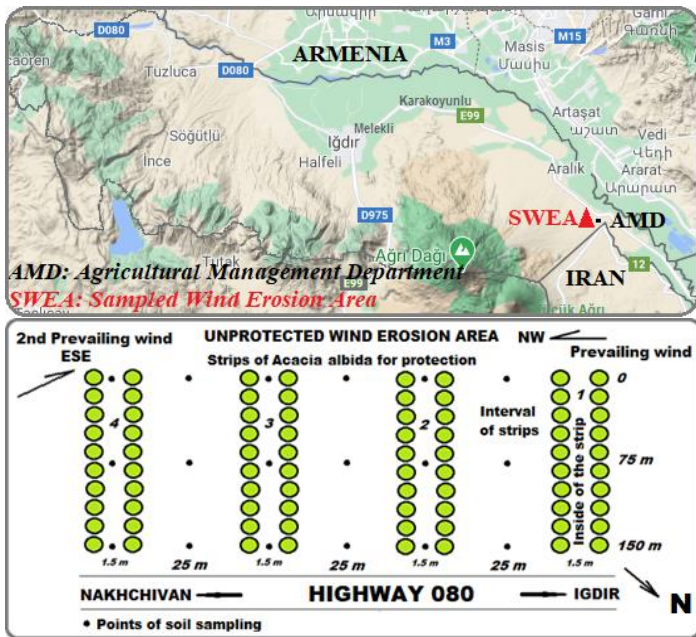


Figure 1. Sampling area and sampling plan for Case 1

Case 2: Ebu cehil (*Ephedra distachya* L.) bush, the most common natural plant species in the Iğdir-Aralık wind erosion area, is a plant species from the Ephedraceae family ranging in height from 25 to 50 cm which protects the soil against erosion with strong roots and is known as a strong stimulant. For this plant, samples from near plants with crown widths of 100, 150 and 250 cm ones were taken from windward, bush bottom, and leeward (Figure 2) sides. There were 3 samples and 3 repetitions with 3 control samples from bare soils for comparison for a total of 30 (10x3) samples.

Case 3: To investigate whether the Ebu cehil bushes, which developed between the acacia strips with crown width 230 cm, provide more protection or not, a total of 12 samples (4x3) were collected as in case 2 (Figure 2) from windward, bush bottom, leeward points with 3 samples and 3 repetitions and 3 control samples from bare soils for comparison.

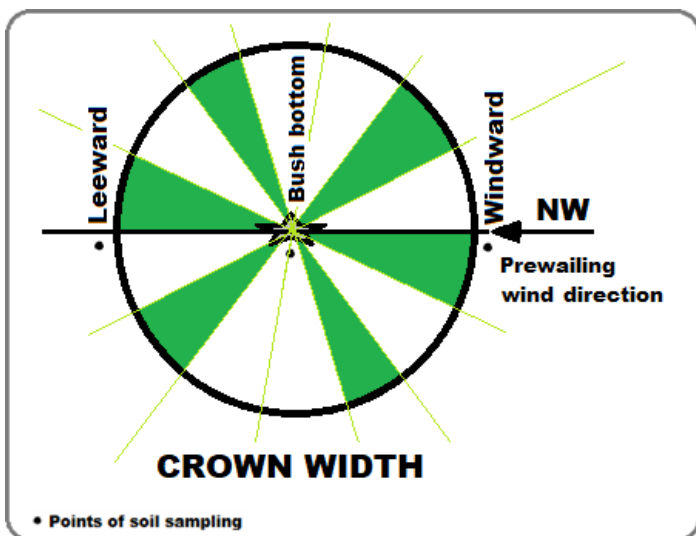


Figure 2. Sampling plan for Case 2 and 3

## 2.2.2. Physical and chemical analysis of soil samples

A proportion of the disturbed soil samples taken from the wind erosion area were sieved to 2 mm in a dry air environment. Texture (%) was determined by the hydrometer method [18]. Soil reaction (pH) was measured potentiometrically in 1:2.5 soil-water suspension with a “glass electrode” pH meter [19]. Lime (%) was measured volumetrically with a Scheibler Calcimeter [20]. Organic matter (%) was measured with the Walkley-Black method [21] and electrical conductivity (EC.10<sup>3</sup>) was examined by obtaining extraction solutions from the prepared saturation pastes with an electrical conductivity instrument in dS cm<sup>-1</sup> [22].

## 2.2.3. Dry sieving processes

It is a well-known and accepted finding that soil aggregates larger than 0.84 mm in diameter are resistant to wind erosion [23]. The most important wind erosion process is saltation by particles larger than the aggregate diameter of 0.106 mm. The immobile surfaces of clods and crusts are eroded after saltation begins and if saltation continues, new saltation, drifting and suspended (<0.106 mm) particles are created through kinetic energy transfer [24].

The dry sieving process was applied to the soil samples of 200 grams at 50 Hz vibration frequency for 5 minutes and the soil material sieved through 2 mm, 1 mm, 0.840 mm, 0.420 mm, 0.106 mm, and 0.020 mm diameter sieves was determined as percentages for each soil sample.

## 2.2.4. Determination of erodible material

The wind-erodible particles at the top of the soil (0-2.54 cm) are defined as the erodible fraction (EF). EF is the percentage of particles smaller than 0.84 mm and are considered sensitive soil particles that can be transported by wind [25]. EF is used as the potential abrasion index in the wind erosion equation (WEQ) and the revised wind erosion equation (RWEQ). The EF value varies as a function of soil texture [26], organic matter content [27], and free CaCO<sub>3</sub> content [28]. To determine the amount of material that can be eroded as a percentage two different equations were used.

$$EF_1 = (W_{<0.84}/TW) \times 100 \quad (1)$$

[13] and

$$EF_2 = 29.9 + 0.31Sand + 0.17Silt + 0.33Sand/Clay - 2.59OM - 0.95CaCO_3 \quad (2)$$

[12] and the erosion susceptibility of the samples were investigated. Here, EF is the amount of erodible fraction (g), W<sub><0.84</sub> is the amount of material less than 0.84 mm (g), TW is the total weight of soil sample, OM is organic matter content (%) and CaCO<sub>3</sub> is lime content (%).

## 2.2.5. Statistical analysis

In vegetation-wind erosion correlations, the Duncan multiple comparison test was applied to the obtained data in order

to reveal the significance level of the changes in the results, especially the significance level of possible increase in resistant aggregation (>0.84 mm), the significance level of the change in the amount of erodible material (EF), of particles (0.106 mm) that trigger erosion by saltation and the physical and chemical properties of soil samples.

In this method developed by Duncan in 1951, the average of each procedure is compared with all other averages and individual test values. During the application of the Duncan test, the F values calculated by variance analysis of the procedures do not have to be statistically significant. Therefore, this method can

be applied in both cases without any problems. This is an advantage of this test [29].

### 3. Results and Discussion

#### 3.1. Analysis and Dry Sieving Results

The results of triplicate physical and chemical analysis of all soil samples used in the study are given in Tables 1, 3 and 5 for cases 1, 2 and 3, respectively. The dry sieving results for cases 1, 2 and 3 are shown in Tables 2, 4 and 6, respectively.

Table 1. Analysis results (Case 1)

Samples	Clay*	Silt*	Sand*	T. C.	Lime*	pH	E.C.10 <sup>3</sup>	A. S.*	O. M.*	EF <sub>2</sub> *	
Control	1	6	11	83	LS	0.24	7.74	220.34	15.8	0.27	61.19
	2	6	12	82	LS	0.98	7.71	75.56	11.3	0.8	58.88
	3	2	10	88	S	0.40	8.12	272.00	18.18	0.87	70.76
Acacia BS-1	1	0	12	88	S	0.80	8.36	280.00	11.82	0.92	64.99
	2	2	34	64	SL	0.56	8.93	173.00	20.67	1.05	76.36
	3	6	32	62	SL	0.24	8.10	208.00	16.23	1.04	60.09
Acacia BS-2	1	2	8	90	S	0.48	8.64	98.00	11.30	0.84	71.04
	2	2	14	84	S	0.48	8.30	103.00	16.67	0.76	69.76
	3	2	22	76	LS	0.32	8.05	226.00	11.79	0.89	67.13
Acacia BS-3	1	4	18	78	LS	0.08	8.73	89.00	16.47	1.04	58.99
	2	2	18	80	LS	0.40	8.87	120.00	10.61	1.01	67.96
	3	4	20	76	LS	0.16	8.82	167.00	20.10	1.05	60.26
Acacia IS-2	1	2	16	82	LS	0.08	8.51	94.00	14.02	0.91	69.14
	2	2	22	76	LS	0.16	8.12	84.00	21.39	0.84	66.65
	3	2	22	76	LS	0.24	8.12	90.00	10.19	0.82	67.39
Acacia IS-3	1	4	16	80	LS	0.16	8.52	84.00	14.77	0.92	61.48
	2	2	16	82	LS	0.00	8.22	103.00	7.23	0.82	69.45
	3	2	14	84	LS	0.08	7.96	103.00	12.11	0.86	69.88
Acacia IS-4	1	3	24	73	SL	0.32	8.61	95.00	9.38	0.86	62.00
	2	2	18	80	LS	0.16	8.20	76.00	17.89	1.02	68.17
	3	2	22	76	LS	0.72	7.82	88.00	11.54	0.86	66.83

\*Values are given as percentage. T.C.: Texture class; E.C.10<sup>3</sup>: Electrical conductivity; A.S.: Aggregate stability; O.M.: Organic matter; EF<sub>2</sub>: Erodible fraction; BS: Between the stripes; IS: Inside of the stripes.

Table 2. Dry Sieving results (Case 1)

Samples	2 mm	1 mm	0.84 mm	0.42 mm	0.106 mm	20 μ	<0.020 μ	EF <sub>1</sub>	
Control	1	0.06	1.07	0.65	9.15	71.93	15.80	1.34	98.22
	2	0.01	0.19	0.28	13.74	73.51	11.87	0.40	99.52
	3	0.44	2.44	0.33	17.44	54.53	21.52	3.30	96.79
Acacia BS-1	1	0.00	1.14	0.79	20.13	56.81	20.10	1.04	98.08
	2	2.87	8.15	1.32	13.22	45.12	25.92	3.39	87.65
	3	1.36	6.00	0.55	16.58	46.77	25.06	3.68	92.08
Acacia BS-2	1	0.54	3.91	0.32	11.25	58.19	24.30	1.48	95.22
	2	1.26	3.06	0.46	17.32	58.89	17.50	1.51	95.22
	3	2.45	7.83	0.35	12.87	45.61	26.62	4.27	89.37
Acacia BS-3	1	0.24	0.87	0.18	19.30	66.71	12.01	0.68	98.71
	2	1.84	7.52	0.47	24.64	50.66	13.34	1.53	90.17
	3	3.95	8.12	0.29	14.47	50.89	19.07	3.20	87.63
Acacia IS-2	1	0.10	0.22	0.09	8.97	72.84	17.07	0.71	99.59
	2	3.76	7.62	0.70	19.00	46.01	20.89	2.01	87.91
	3	2.52	7.30	0.49	20.80	47.36	18.68	2.86	89.70
Acacia IS-3	1	3.41	4.80	0.27	13.64	53.92	21.20	2.76	91.52
	2	1.90	6.74	0.45	18.32	47.18	21.48	3.93	90.91
	3	2.40	5.49	0.38	15.51	51.63	20.41	4.19	91.74
Acacia IS-4	1	0.51	2.30	0.27	13.87	57.15	22.43	3.47	96.92
	2	3.24	7.58	0.38	18.22	45.06	21.83	3.70	88.81
	3	2.53	9.38	0.37	21.85	43.72	19.32	2.84	87.73

EF<sub>1</sub>: Erodible fraction; BS: Between the strips; IS: Inside the strips.

Table 3. Analysis results (Case 2)

Samples	Clay*	Silt*	Sand*	T. C.*	Lime*	pH	E.C.10 <sup>3</sup>	A. S.*	O. M.*	EF <sub>2</sub> *	
Control	<i>I</i>	6	11	83	LS	0.24	7.74	220.34	15.8	0.27	61.19
	<i>2</i>	6	12	82	LS	0.98	7.71	75.56	11.3	0.8	58.88
	<i>3</i>	2	10	88	S	0.40	8.12	272.00	18.18	0.87	70.76
E.D. 100 cm (1)	<i>W</i>	1	10	89	S	0.08	7.67	94.00	21.43	1.04	85.79
	<i>BB</i>	3	24	73	SL	0.16	7.22	436.00	18.48	1.01	61.76
	<i>L</i>	3	22	75	SL	0.16	7.45	314.00	20.00	1.06	62.24
E.D. 100 cm (2)	<i>W</i>	1	20	79	LS	0.16	7.41	206.00	7.41	0.85	81.51
	<i>BB</i>	1	14	85	LS	0.08	7.60	63.00	7.73	0.74	84.69
	<i>L</i>	3	24	73	SL	0.24	7.66	105.00	22.40	1.05	61.58
E.D. 100 cm (3)	<i>W</i>	3	16	81	LS	0.24	7.41	409.00	18.33	0.87	64.16
	<i>BB</i>	3	20	77	LS	0.08	7.59	86.00	15.44	0.92	63.29
	<i>L</i>	1	20	79	LS	0.16	7.71	87.00	14.41	0.91	81.35
E.D. 150 cm (1)	<i>W</i>	1	24	75	LS	0.16	7.43	250.00	9.01	0.72	79.96
	<i>BB</i>	1	30	69	SL	0.16	7.79	111.00	12.41	0.86	76.78
	<i>L</i>	1	24	75	LS	0.24	7.76	86.00	18.95	0.85	79.55
E.D. 150 cm (2)	<i>W</i>	3	16	81	LS	0.24	7.42	430.00	8.21	0.84	64.24
	<i>BB</i>	1	26	73	LS	0.16	7.67	144.00	16.88	0.84	78.71
	<i>L</i>	3	20	77	LS	0.08	7.72	123.00	10.56	1.02	63.03
E.D. 150 cm (3)	<i>W</i>	3	16	81	LS	0.16	7.55	321.00	13.60	0.95	64.03
	<i>BB</i>	1	16	83	LS	0.08	7.77	103.00	12.72	0.86	83.44
	<i>L</i>	1	14	85	LS	0.16	7.83	95.00	11.50	0.84	84.35
E.D. 250 cm (1)	<i>W</i>	3	26	71	SL	0.24	7.71	236.00	18.00	0.96	61.54
	<i>BB</i>	1	16	83	LS	0.24	7.78	95.00	15.66	0.92	93.99
	<i>L</i>	1	14	85	LS	0.24	7.72	64.00	8.72	0.96	83.62
E.D. 250 cm (2)	<i>W</i>	1	22	77	LS	0.16	7.53	340.00	14.17	0.84	80.59
	<i>BB</i>	1	22	77	LS	0.32	7.64	95.00	11.59	0.85	80.41
	<i>L</i>	3	18	79	LS	0.24	7.80	94.00	13.39	0.82	63.68
E.D. 250 cm (3)	<i>W</i>	1	16	83	LS	0.24	6.80	451.00	11.29	0.72	83.65
	<i>BB</i>	1	18	81	LS	0.24	7.81	92.00	14.50	0.64	83.38
	<i>L</i>	1	16	83	LS	0.32	7.53	99.00	9.42	0.75	83.49

E.D.: *Ephedra distachya* L.; W: Windward; BB: Bush bottom; L: Leeward.

Table 4. Dry Sieving results (Case 2)

Samples	2 mm	1 mm	0.84 mm	0.42 mm	0.106 mm	20 μ	<0.020 μ	EF <sub>1</sub>	
Control	<i>I</i>	0.06	1.07	0.65	9.15	71.93	15.80	1.34	98.22
	<i>2</i>	0.01	0.19	0.28	13.74	73.51	11.87	0.40	99.52
	<i>3</i>	0.44	2.44	0.33	17.44	54.53	21.52	3.30	96.79
E.D. 100 cm (1)	<i>W</i>	2.17	8.50	0.70	24.28	52.43	9.92	2.00	88.63
	<i>BB</i>	3.55	7.27	0.47	19.23	57.96	10.94	0.59	88.72
	<i>L</i>	2.18	6.09	0.47	18.84	55.64	12.86	3.93	91.26
E.D. 100 cm (2)	<i>W</i>	2.31	6.87	0.64	12.69	62.36	10.89	4.25	90.19
	<i>BB</i>	1.21	3.64	0.45	17.78	62.37	12.04	2.52	94.70
	<i>L</i>	2.01	7.02	0.87	28.07	49.65	8.92	3.45	90.10
E.D. 100 cm (3)	<i>W</i>	1.67	6.29	0.62	26.34	53.34	7.81	3.94	91.42
	<i>BB</i>	0.15	1.61	0.11	23.15	63.76	4.88	6.35	98.13
	<i>L</i>	1.89	8.03	0.67	26.50	51.74	8.03	3.14	89.41
E.D. 150 cm (1)	<i>W</i>	2.77	6.88	0.60	18.81	55.27	9.46	6.21	89.75
	<i>BB</i>	0.94	3.87	0.21	13.40	66.11	11.16	4.31	94.98
	<i>L</i>	3.99	7.69	0.55	20.38	51.83	9.14	6.42	87.77
E.D. 150 cm (2)	<i>W</i>	2.30	5.26	0.19	18.58	57.85	15.83	0.00	92.26
	<i>BB</i>	0.40	1.60	0.15	12.60	70.53	11.49	3.22	97.85
	<i>L</i>	2.05	5.27	0.43	20.92	57.00	14.34	0.00	92.25
E.D. 150 cm (3)	<i>W</i>	3.25	8.25	0.42	23.49	52.29	12.29	0.00	88.08
	<i>BB</i>	0.50	1.52	0.12	15.63	71.52	10.71	0.00	97.87
	<i>L</i>	1.35	4.24	0.36	22.78	57.50	13.77	0.00	94.06
E.D. 250 cm (1)	<i>W</i>	2.73	7.67	0.40	21.00	52.49	15.71	0.00	89.19
	<i>BB</i>	1.29	6.40	0.61	27.09	54.53	10.08	0.00	91.70
	<i>L</i>	4.35	8.37	0.50	19.95	52.22	14.61	0.00	86.78
E.D. 250 cm (2)	<i>W</i>	5.05	8.17	0.37	18.30	53.11	14.99	0.00	86.40
	<i>BB</i>	1.54	4.15	0.22	13.96	62.35	17.78	0.00	94.09
	<i>L</i>	7.21	13.13	0.47	21.42	45.34	12.43	0.00	79.19
E.D. 250 cm (3)	<i>W</i>	2.43	8.39	0.39	28.17	47.53	13.08	0.00	88.79
	<i>BB</i>	0.79	2.49	0.15	13.29	69.27	14.02	0.00	96.57
	<i>L</i>	3.94	8.62	0.35	24.36	49.08	13.65	0.00	87.09

EF<sub>1</sub>: Erodible fraction; E.D.: *Ephedra distachya* L.; W: Windward; BB: Bush bottom; L: Leeward.

Table 5. Analysis results (Case 3)

Samples	Clay*	Silt*	Sand*	T. C.	Lime*	pH	E.C.10 <sup>3</sup>	A. S.*	O. M.*	EF <sub>1</sub> *	
Control	1	6	11	83	LS	0,24	7.74	220.34	15.8	0.27	61.19
	2	6	12	82	LS	0.98	7.71	75.56	11.3	0.8	58.88
	3	2	10	88	S	0,40	8.12	272.00	18.18	0.87	70.76
B. Acacias	W	1	20	79	LS	0,08	7.86	122.00	5.56	0.74	81.87
E.D.	BB	3	24	73	SL	0,32	8.13	288.00	19.91	0.98	61.69
230 cm (1)	L	5	30	65	SL	0,16	7.91	89.00	11.16	1.01	56.67
B. Acacias	W	3	24	73	SL	0,16	8.04	89.00	16.13	0.78	62.36
E.D.	BB	1	24	75	LS	0,16	8.01	480.00	22.65	1.08	79.03
230 cm (2)	L	1	26	73	SL	0,24	7.73	163.00	7.72	0.81	78.71
B. Acacias	W	3	14	83	LS	0,24	7.74	145.00	7.25	0.76	65.05
E.D.	BB	1	22	77	LS	0,08	7.55	259.00	10.62	0.81	80.75
230 cm (3)	L	3	18	79	LS	0,16	7.85	194.00	11.73	0.72	64.01

B: Between; E.D.: *Ephedra distachya* L.; W: Windward; BB: Bush bottom; L: Leeward.

Table 6. Dry Sieving results (Case 3)

Samples	2 mm	1 mm	0.84 mm	0.42 mm	0.106 mm	20 μ	<0.020 μ	EF <sub>1</sub>	
Control	1	0.06	1.07	0.65	9.15	71.93	15.80	1.34	98.22
	2	0.01	0.19	0.28	13.74	73.51	11.87	0.40	99.52
	3	0.44	2.44	0.33	17.44	54.53	21.52	3.30	96.79
B. Acacias	W	5.90	7.68	0.43	18.02	43.07	22.09	2.80	85.99
E.D.	BB	3.49	9.91	0.28	19.47	38.39	23.54	4.91	86.32
230 cm (1)	L	1.01	4.98	0.43	16.99	52.22	20.40	3.96	93.58
B. Acacias	W	2.71	11.09	1.12	33.67	9.54	36.09	5.78	85.08
E.D.	BB	0.97	4.57	0.42	19.66	57.76	14.84	1.79	94.04
230 cm (2)	L	0.91	4.35	0.60	16.52	54.06	21.20	2.36	94.14
B. Acacias	W	1.45	3.10	0.36	17.26	53.89	17.24	6.69	95.08
E.D.	BB	2.10	5.02	0.35	13.23	51.02	24.81	3.47	92.53
230 cm (3)	L	1.75	5.07	0.48	20.30	45.19	21.45	5.76	92.71

B: Between; E.D.: *Ephedra distachya* L.; W: Windward; BB: Bush bottom; L: Leeward.

Soil samples had sandy (S), loamy sandy (LS) and sandy loam (SL) textures and clay percentages were very low. Sandy loam (SL) and sandy (S) soils with insufficient organic matter form weakly bound aggregates and are more susceptible to abrasion. On the other hand, generally fine textured soils form strong and resistant aggregates against wind erosion. Any dry and degraded soil is susceptible to wind erosion. As a result, the order of particles resistant to displacement is clay>silt>fine sand. [30].

The amount of lime (CaCO<sub>3</sub>) in the samples varies between 0.0-0.98% and is classified as low lime. Organic matter is between 0.27-1.06% and was measured as very little and low [31, 32, 33]. Lime and organic matter protect soils against erosion by increasing aggregation [34] and organic matter is the most effective soil feature for soil erosion [35]. Most soils contain less than 15% organic matter, and it is less than 2% in sandy loam soils [36].

The aggregate stability or water-resistant aggregate percentages of sampled soils ranged from 5.56 to 22.65 and were very low. Soils with about 3.5% organic carbon, or less than 2 percent organic content, can be considered erodible [37]. In general, the sensitivity of soils to erosion decreases with the increase in aggregate stability percentage [38]. The dominant aggregates in agricultural lands are smaller than natural ones, and agricultural soils gain a sensitive structure to erosion by decreasing their aggregate diameter and their stability [39].

The measured pH values of the samples were between 6.80-8.93 and varied between neutral and strongly alkaline. Soil reaction is effective on the availability of nutrients [40] and the amount of toxic substances formed in the soil. As a result of this, pH is a soil chemical property that controls plant growth and

microorganism activities. Some plants grow only in soils with strong acid reactions, they cannot survive in neutral and alkaline soils; contrary to this, some plants can survive in neutral or alkaline reactions.

The EC.10<sup>3</sup> values of soil samples were determined to be very salty in all samples. These values are only suitable for the productive growth of certain plant species [41].

According to the results of dry sieving processes, no significant difference was found between samples under control and different protection measures. The percentage of the samples resistant to wind erosion (>0.84 mm) was found to be very low (0.41-20.81%), and the percentages of erodible material calculated according to both formulas were found to be quite high (79.19-99.59% for EF<sub>1</sub>; 56.67-93.99% for EF<sub>2</sub>). The percentage values for the 0.106 mm diameter material, which increases erosion and erosion by saltation, were found to be quite high (9.54-73.51%).

According to these results, sampled soils were sensitive to wind erosion according to soil properties, dry sieving results and erodible material percentage values calculated with the help of equations. The lands that are not cultivated throughout Turkey are pasture lands that do not have natural soil cover due to erosion or that most of the very shallow areas have degraded [42]. There was no significant difference between the results of the samples taken from the protected areas and the results of the samples taken from the bare areas.

### 3.2. Statistical Analysis Results

Duncan multiple comparison test results applied to the data for all soil samples used in the research are given in Tables 7, 9 and 11 for case 1, 2 and 3, respectively, with means values and

analyses for dry sieve results given in Tables 8, 10 and 12 for case 1, 2 and 3, respectively.

Table 7. Statistical results for analyses (Case 1)

	Clay	Silt	Sand	Lime	pH	E.C.10 <sup>3</sup>	A. S.	O. M.	EF2
<b>BSA</b>	2.78	19.67	77.55	0.39	8.53	162.67	15.07	0.95	66.29
<b>Mean</b>	±1.07	±6.49A	±7.13	±0.13	±0.19A	±34.70	±1.63	±0.03	±4.57
<b>ISA</b>	2.33	18.89	78.78	0.22	8.23	90.78	13.17	0.88	66.78
<b>Mean</b>	±0.58	±0.38A	±0.51	±0.12	±0.29AB	±3.01	±2.15	±0.03	±2.22
<b>C</b>	4.67	11.00	84.33	0.54	7.86	90.76	15.09	0.65	63.61
	±2.31	±1.00B	±3.21	±0.39	±0.23B	±156.96	±3.49	±0.33	±6.30

E.C.10<sup>3</sup>: Electrical conductivity (dS cm<sup>-1</sup>); A.S: Aggregate stability (%); O.M: Organic matter (%); EF<sub>2</sub>: Erodible fraction (%); BSA: Between Strips of Acacias; ISA: Inside Strips of Acacias; C: Control.

Table 8. Statistical results for dry sieving (Case 1)

	2 mm	1 mm	0.84 mm	0.42 mm	0.106 mm	20 μ	<20 μ	EF1
<b>BSA</b>	1.61	5.18	0.53	16.64	53.30	20.43	2.3	92.68
<b>Mean</b>	±1.21AB	±2.83	±0.19	±1.89	±6.58	±2.73	1±1.33	±4.09
<b>ISA</b>	2.26	5.71	0.38	16.69	51.65	20.37	2.94	91.6
<b>Mean</b>	±0.84A	±2.84	±0.15	±3.94	±8.39	±0.97	±0.55	5±3.79
<b>C</b>	0.17	1.23	0.42	13.44	66.66	16.40	1.68	98.18
	±0.24B	±1.13	±0.20	±4.15	±10.53	±4.85	±1.48	±1.37

EF<sub>1</sub>: Erodible fraction (%).

For Case 1, according to the analysis results for silt and pH values and the dry sieving results, 2 mm sieve values were found to be different from the control values and significant at p <0.05 level. High silt values are negative in terms of erosion because the most susceptible soil particles to erosion are the silt fraction. The increase in pH values showed higher degree of alkalinity. If there

is an increase in 2 mm diameter particles, and particularly inside the strip increases are in the form of single grains, it is less useful than aggregates for agriculture. Since it has smaller particles in aggregate composition, it is more beneficial for soil and those dependent on soil.

Table 9. Statistical results for analyses (Case 2)

	Clay	Silt	Sand	Lime	pH	E.C.10 <sup>3</sup>	A. S.	O. M.	EF2
<b>E.D.</b>	1.89	18.44	79.67	0.19	7.44	304.11	13.49	0.87	73.94
<b>W</b>	±0.38B	±3.01A	±3.06AB	±0.03	±0.08B	±58.86A	±2.86	±0.05	±4.04AB
<b>Mean</b>									
<b>E.D.</b>	1.44	20.55	78.00	0.17	7.65	136.11	13.93	0.85	78.49
<b>BB</b>	±0.77B	±3.03A	±2.85B	±0.09	±0.16AB	±52.55AB	±0.06	±0.05	±8.07A
<b>Mean</b>									
<b>E.D.</b>	1.89	19.11	79.00	0.21	7.69	118.56	14.37	0.92	73.65
<b>L</b>	±0.38B	±3.01A	±3.33AB	±0.06	±0.08AB	±44.10AB	±4.26	±0.09	±4.60AB
<b>Mean</b>									
<b>C</b>	4.67	11.00	84.33	0.54	7.86	90.76	15.09	0.65	63.61
	±2.31A	±1.00B	±3.21A	±0.39	±0.23A	±156.96B	±3.49	±0.33	±6.30B

EF<sub>2</sub>: Erodible fraction; E.D.: Ephedra distachya L.; W: Windward; BB: Bush bottom; L: Leeward; C: Control.

Table 10. Statistical results for dry sieving (Case 2)

	2 mm	1 mm	0.84 mm	0.42 mm	0.106 mm	20 μ	<20 μ	EF1
<b>E.D.</b>	2.74	7.37	0.48	21.29	54.07	12.22	1.82	89.41
<b>W</b>	±0.68AB	±0.65A	±0.15	±1.11A	±2.67BC	±2.54	±1.71	±1.11B
<b>Mean</b>								
<b>E.D.</b>	1.15	3.61	0.28	17.35	64.27	11.46	1.89	94.96
<b>BB</b>	±0.52BC	±1.11B	±0.10	±3.16AB	±4.45AB	±2.35	±1.66	±1.69A
<b>Mean</b>								
<b>E.D.</b>	3.22	7.60	0.52	22.58	52.22	11.97	1.88	88.66
<b>L</b>	±1.70A	±2.21A	±0.13	±1.66A	±3.28C	±1.85	±1.76	±3.76B
<b>Mean</b>								
<b>C</b>	0.17	1.23	0.42	13.44	66.66	16.40	1.68	98.18
	±.24C	±1.13B	±0.20	±4.15B	±10.53A	±4.85	±1.48	±1.37A

EF<sub>1</sub>: Erodible fraction (%).

For case 2, according to the analysis results for clay, silt, sand, pH, EC.10<sup>3</sup> and EF2 values; and the dry sieving results, 2, 1, 0.42, 0.106 mm sieve values and percentages of EF1 were found to be different from the control values and significant at p <0.05 level. The difference in clay values is toward a decrease and is a negative situation. The difference in silt values is toward an increase and is a negative situation in terms of susceptibility to erosion. The difference in sand values is in a decrease and is a positive situation. The decrease in pH values was from higher alkalinity to lower values and this was considered positive. The increase in EC.10<sup>3</sup> values indicate an increase in salinity and a

negative situation. The increase in EF2 values is an undesirable negative situation. If the increase in 2- and 1-mm sieve values is in the form of individual grains, it is more useless for agriculture than aggregates. The increase in 0.42 mm sieve value was evaluated as beneficial in terms of the increment in particles larger than 0.106 mm critical diameter causing saltation. The decrease in the 0.106 mm sieve value was evaluated as a positive situation in terms of decreasing saltation during wind erosion and a negative situation in terms of particles suspended in the air. The decrease in EF1 values is a positive difference.

Table 11. Statistical results for analyses (Case 3)

	Clay	Silt	Sand	Lime	pH	E.C.10 <sup>3</sup>	A. S.	O. M.	EF2
<b>IA E.D.</b>	2.33	22.44	75.22	0.18	7.87	203.22	12.52	0.86	70.01
<b>Mean</b>	±0.67	±2.78	±3.01B	±0.02	±0.04	±121.40	±4.51	±0.10	±3.69
<b>C</b>	4.67	11.00	84.33	0.54	7.86	90.76	15.09	0.65	63.61
	±2.31	±1.00	±3.21A	±0.39	±0.23	±156.96	±3.49	±0.33	±6.30

IA: Inside of acacias.

Table 12. Statistical results for dry sieving (Case 3)

	2 mm	1 mm	0.84 mm	0.42 mm	0.106 mm	20 µ	<20 µ	EF1
<b>IA E.D.</b>	2.26	6.20	0.50	19.46	45.02	22.41	4.17	91.05
<b>Mean</b>	±1.07A	±1.27A	±0.15	±3.06	±8.27B	±2.37	±0.86	±2.38B
<b>C</b>	0.17	1.23	0.42	13.44	66.66	16.40	1.68	98.18
	±0.24B	±1.13B	±0.20	±4.15	±10.53A	±4.85	±1.48	±1.37A

For case 3, according to the analysis results sand and dry sieving results, sieve values for 2, 1 and 0.106 mm and EF1 percentages were found to be different from the control values and significant at the p <0.05 level. The difference in sand values is a decrease and can be accepted as a positive situation, but the decrease in the clay value and the increase in the silt value are negative in terms of erosion. The increases in 2- and 1-mm sieve values are less favourable in terms of individual grains than aggregates. The decrease in the 0.106 mm sieve value was evaluated as a positive situation in terms of decreasing saltation during wind erosion and a negative situation in terms of particles suspended in the air.

Loss or insufficient protective vegetation is generally evaluated together with changes in physicochemical and biological soil properties such as soil structure, plant nutrient availability, organic matter content and microbial activities. About wind erosion control, it is critical to address not only vegetation, but also these biological and physicochemical soil characteristics [45].

The results of the study indicate insufficient (<75%) existing vegetation in protected areas and revealed that there is very little vegetation (10-40%) in unprotected areas [14] and the negative effects of wind erosion will continue if the cover percentage is not increased. Generally, statistical results were unfavourable and confirmed this view.

The distance between the two rows of acacia strips is 25 meters and it is suitable for the literature, but the planting of two rows was performed incorrectly. Inside facing rows should be short and provide ground level cover [30]. Since acacia trees are the same height and their lower parts remain open, their protection power remained low. On the other hand, shorter edges were left open while creating acacia strips. This indicates that the protection process started incompletely. Planning according to the prevailing wind is important, but not sufficient. Wind shear can come from all directions; therefore, all sides of the land to be protected should be surrounded by windbreakers so as not to interfere with the intended use.

#### 4. Conclusions and Recommendations

Accelerated erosion because of natural disasters and anthropogenic effects is a result of vegetation deficiency and partly mistaken cultural processes [43]. Vegetation is one of the important factors controlling erosion. The vegetation on the soil surface keeps the soil particles together with developed root systems, reduces the wind speed close to the ground level on the soil and prevents the transport of soil particles. However, natural plant communities in semi-arid and arid climates cannot fully protect the soil surface from the erosive forces of the wind. Semi-arid ecosystems, including grasslands, scrub and scrub lands, savannah, woodlands, and forests, are highly susceptible to wind erosion, especially when degraded by human influences [44].

## References

- [1] Karlen, D.L., Andrews, S.S. Wienhold, B.J., & Doran, J. W. (2003). Soil quality: *Humankind's foundation for survival*. *J. Soil Water Conservation*, 58, 171-179.
- [2] Altın, M., Gökkuş, A., & Koç, A., (2011). Meadow and Rangeland Management (In Turkish). 2<sup>nd</sup> Volume (Basic principles). *TUGEM Publications*, pp. 84-88, Ankara, Turkey.
- [3] Ahmad, K., Ashraf, M., Khan, Z. I., & Valeem R. E. (2008). Evaluation of Macro-Mineral Concentrations of Forages in Relation to Ruminants Requirements: A Case Study in Soone Valley, Punjab. Pakistan. *Pak. Journal of Bot.*, 40(1), 295-299.
- [4] Ghazanfar, S., Latif, A., Mirza, I. H., & Nadeem, M. A. (2011). Macro-Minerals Concentrations of Major Fodder Tree Leaves and Shrubs of District Chakwal, Pakistan. *Pak. Journal Nutr.*, 10(5), 480-484.
- [5] Louhaichi, M., Salkini, A.K., & Petersen, S. L. (2009). Effect of small ruminant grazing on the plant community characteristics of semiarid Mediterranean ecosystems. *Int. J. Agric. Biol.*, 11, 681-689.
- [6] Zobeck, T.M., Popham, T.W., Skidmore, E. L., Lamb, J.A., Merrill, S.D., Lindstrom, M.J., Mokma, D.L., & Yoder, R. E. (2003). Aggregate-mean diameter and wind-erodible soil predictions using dry aggregate-size distributions. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 67, 425-436.
- [7] Goossens, D., & Riksen, M. J. P. M. (2007). The role of wind and splash erosion in inland drift-sand areas in the Netherlands. *Geomorphology*, 88(1- 2), 179-192.
- [8] Acar, R., & Dursun, S. (2010). Vegetative methods to prevent wind erosion in Central Anatolia Region. *Int. J. of Sustainable Water & Environmental Systems*, 1(1), 25-28.
- [9] Karaoğlu, M. (2018a). Wind erosion studies in Iğdır-Aralık. *Journal of Agriculture*, 1(2), 25-38, Iğdır, Turkey.
- [10] Özdoğan, N. (1976). Wind erosion and major measures to be taken in wind erosion areas (In Turkish). *General Directorate of Soilwater*, General publication No: 306. Ankara, Turkey.
- [11] Li, J., Okin, G. S., & Epstein, H. E. (2009). Effects of enhanced wind erosion on surface soil texture and characteristics of windblown sediments. *Journal of Geophysic. Res.*, 114, 1-8.
- [12] Fryrear, D. W., Krammes, C. A., Williamson, D. L., & Zobeck, T. M., (1994). Computing the wind erosion fraction of soils. *Soil Water Conservation*. 49, 183-188.,
- [13] Zobeck, T. M., Popham, T. W., Skidmore, E. L., Lamb, J. A. Merrill, S. D., Lindstrom, M. J., Mokma, D. L., & Yoder, R. E. (2003) Aggregate-mean diameter and wind-erodible soil predictions using dry aggregate-size distributions. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 67, 425-436.
- [14] Karaoğlu, M., Şimşek, U., Tohumcu, F., & Erdel, E. (2017). Determining surface soil properties of wind erosion area of Iğdir-Aralık and estimating the soil loss. *Fresenius Environmental Bulletin*, 26(5), 3170-3175.
- [15] Chepil, W. S. (1962). A compact rotary sieve and the importance of dry sieving in physical soil analysis. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 26, 4-6.
- [16] Colazo, J. C., & Buschiazzi D. E. (2010). Soil dry aggregate stability and wind erodible fraction in a semiarid environment of Argentina. *Geoderma* 159: 228-236.,
- [17] Garrett, H. E., & Buck, L. E. (1997). Agroforestry practice and policy in the United States of America. *For Ecology Management*, 91, 5-15.
- [18] Gee, G. W., & Bauder, J. W. (1986). Particle-size analysis. p. 383-411. In A. Klute (ed.) *Methods of soil analysis*. Part 1. 2nd ed. *Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI*.
- [19] Mclean, E. O. (1982). Soil pH and lime requirement. In Page, A. L., R. H. Miller and D. R. Keeney (eds.) *Methods of soil analysis*. Part 2 - Chemical and microbiological properties. (2<sup>nd</sup> Ed.). *Agronomy*, 9, 199-223.
- [20] Nelson, R. E. (1982). Carbonate and gypsum. P. 181-197. In A.L. Page et al. (ed). *Methods of soil analysis*. Part 2. 2nd ed. *Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI*.
- [21] Walkley A., & Black LA, (1934). An examination of the degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37 (1): 29-38. doi: <https://doi.org/10.1097/00010694-193401000-00003>.
- [22] Demiralay, İ. (1993). Soil physical analysis (In Turkish). *Erzurum Atatürk University Publications* No: 143, Erzurum, Turkey.
- [23] Chepil, W. S. (1953). Factors that influence clod structure and erodibility of soil by wind: I. Soil texture. *Soil Sci.* 75, 473-483.
- [24] Hagen, L. J., van Pelt, S., & Sharratt, B. (2010). Estimating the saltation and suspension components from field wind erosion. *Aeolian Research*, 1, 147-153.
- [25] Chepil, W. S. (1942). Measurement of wind erosiveness by dry sieving procedure. *Sci. Agric.* 23, 154-160.
- [26] Lyles, L., & Woodruff, N. P. (1960). Surface soil cloddiness in relation to soil density at time of tillage. *Soil Sci.*, 91, 178-182.
- [27] Chepil, W. S. (1955). Factors that influence clod structure and erodibility of soil by wind: V. Organic matter at various stages of decomposition. *Soil Sci.*, 80, 413-421.
- [28] Chepil, W. S. (1954). Factors that influence clod structure and erodibility of soil by wind: III. Calcium carbonate and decomposed organic matter. *Soil Sci.*, 77, 473-480.
- [29] Açıkgöz, N. (1993). Research and experiment methods in agriculture (In Turkish). *E.U.A.F. Pub.*, No: 478, 3<sup>rd</sup> Edit., İzmir, Turkey.
- [30] Blanco, H., & Lal, R. (2008). Principles of Soil Conservation and Management. *Springer Science + Business Media B.V.* ISBN: 978-1-4020-8708-0.
- [31] Ülgen, N., & Yurtsever, N. (1974). Turkey Fertilizer and Manure Guide (In Turkish). Soil and Fertilizer Research *Institute Technical Publications Series No: 28, Kemal Printery*, Ankara, Turkey.
- [32] Aydın, A., & Sezen, Y. (1995). Soil chemistry laboratory book (In Turkish). *E.A.U. Agricultural Faculty Course Publications* No: 174, 146 pages, Offset plant, Erzurum, Turkey.
- [33] Güçdemir, İ. H. (2008). Sampling for Soil, Water and Plant Analysis, Fertilizers, Fertilization Based on Soil Analysis. *Ministry of Agriculture and Rural Affairs*, General Pub. No: 68, Farmer Pub. No: 3, Ankara.
- [34] Taysun, A., Saatçı, F., & Uysal, H. (1984). A preliminary study on the effect of PVA (Polyvinylalcohol) application on soils on aggregation. *E. U. A. F. Journal*, 21(3), 27-33.
- [35] Wischmeier, W. D., & Mannering, J. V. (1969). Relation of soil properties and erodibility. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 33, 131-137.
- [36] Morgan, R. P. C. (2005). Soil Erosion & Conservation. 3<sup>rd</sup> Ed. *Blackwell publishing*, 108 Cowley Road, Oxford OX4 1JF, UK.

- [37] Evans, R. (1980). Mechanics of water erosion and their spatial and temporal controls: an empirical viewpoint. In Kirkby, M.J. and Morgan, R.P.C. (eds), Soil erosion. Wiley, Chichester, 109-128.
- [38] Tate, R. L. (2000). Soil Microbiology. 2nd Edition. 536 Pages. John Wiley & Sons, ISBN: 978-0-471-31791, New York.
- [39] Taysun, A. (1986). Research on the effects of stones, plant residues and polyvinyl alcohol (PVA) on soil properties and erosion with the help of artificial sprinklers in rendzina agricultural soils in Gediz basin (Thesis of Assoc. Prof. Dr. In Turkish). *E.U. Agr. Fac. Pub.* No: 474.
- [40] Sönmez, S. (2013). Basic compounds of plant nutrition: Water, soil, nutrients (In Turkish). *Hasad Pub.*, 176. s, ISBNp: 9789758377886.
- [41] Aydemir, O. (1992). Plant nutrition and soil fertility (In Turkish). *Erzurum Atatürk University Publications.* No: 734, Erzurum, Turkey.
- [42] Çelik, A., & Akça, E. (2021). Description of the quarter-century effect of conversion from rainfed Farming to irrigated farming on a micromorphological scale. *European Journal of Science and Technology*, 21, 207-215.
- [43] Karaoğlu, M. (2018b). The importance of vegetation in wind erosion. *Journal of Agriculture*, ISSN: 2636-8757, 1(2), 49-60, Iğdir, Turkey.
- [44] Li, J., Okin, G.S. Alvarez, L., & Epstein, H. (2007). Quantitative effects of vegetation cover on wind erosion and soil nutrient loss in a desert grass- land of southern New Mexico. *Biogeochemistry*, 85, 317-322.
- [45] Van Pelt, R. S., & Zobeck, T. M. (2004). Effects of polyacrylamide, cover crops, and crop residue management on wind erosion, ISCO, 13th International Soil Conservation Organisation Conference, Brisbane.





# Resource Management in Crisis Situations

Mete Gündoğan<sup>1</sup>, Murat Ata<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Ankara Yıldırım Beyazıt University, Department of Industrial Engineering, Ankara, Turkey, (ORCID: 0000-0002-6753-9954), [metegundogan@ybu.edu.tr](mailto:metegundogan@ybu.edu.tr)

<sup>2\*</sup> Ankara Yıldırım Beyazıt University, Graduate School of Natural Sciences, Ankara, Turkey, (ORCID: 0000-0002-3770-9983), [murata@hotmail.com](mailto:murata@hotmail.com)

(First received 22 June 2021 and in final form 23 November 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.955560)

**ATIF/REFERENCE:** Gündoğan, M., Ata, M. (2021). Resource Management in Crisis Situations. *European Journal of Science and Technology*, (27), 935-941.

## Abstract

In crisis situations, one of the most important issue will be the supply of products and raw materials. In addition to supply, it is necessary to be prepared, especially in cases where basic necessities are not sufficient for the entire society. With our existing technological capabilities, almost every citizen can be tracked separately, often instantly where and what he is doing can be observed. We will try to put aside the ethical discussions of this part of the subject and focus on how we can benefit from these opportunities. Of course, the most ideal thing is that every citizen, regardless of his/her financial power, position in society, job or title, consumes as much resources as his true need with his consent without any compulsion. But in the case of coercive situations, it may be necessary to ensure that the division is conducted fairly and transparently by the authority. In this study, we will try to put a model proposal for resource management system with using one of the systems engineering methods, "Structured System Analysis and Design Method" and relational database design. Of course the model will be not so detailed, but will be functional for at least vital needs.

**Keywords:** Database, Pandemic, Resource Management, Systems Engineering

## Kriz Durumlarında Kaynak Yönetimi

### Öz

Kriz durumlarında, en önemli konulardan biri ürün ve hammadde temini olacaktır. Arzın yanı sıra, özellikle temel ihtiyaçların tüm toplum için yeterli olmadığı durumlara hazırlıklı olmak gerekir. Mevcut teknolojik yeteneklerimizle, hemen hemen her vatandaş ayrı ayrı izlenebilir, çoğu zaman nerede ve ne yaptığını anında gözlemlenebilir durumdadır. Konunun bu bölümünün etik tartışmalarını bir kenara bırakmaya çalışacağız ve bu fırsatlardan nasıl yararlanabileceğimize odaklanacağız. Tabii ki en ideal olan, her vatandaşın, finansal gücü, toplumdaki konumu, işi veya unvanı ne olursa olsun, herhangi bir zorlama olmadan rızasıyla gerçek ihtiyacı kadar kaynak tüketmesidir. Ancak zorlayıcı durumlar söz konusu olduğunda, bölüşmenin otorite tarafından adil ve şeffaf bir şekilde yürütülmesini sağlamak gerekli olabilir. Bu çalışmada, sistem mühendisliği yöntemlerinden biri olan "Yapılandırılmış sistem analizi ve tasarım yöntemi" ve "ilişkisel veri tabanı tasarımı" kullanılarak kaynak yönetim sistemi için bir model önerisi sunmaya çalışacağız. Tabii ki model çok ayrıntılı olmayacak ancak en azından hayati ihtiyaçlar için işlevsel olacaktır.

**Anahtar Kelimeler:** Veri tabanı, Pandemi, Kaynak Yönetimi, Sistem Mühendisliği

\* Corresponding Author: [murata@hotmail.com](mailto:murata@hotmail.com)

## 1. Introduction

As it is known, the whole world is going through a troubled pandemic. It is also clear how unprepared almost all states and institutions are for the epidemic. Many of the work previously done on paper did not work, and the predictions turned out to be wrong. It is obvious that there are dramatic differences between the conditions of epidemics encountered in history and today and we need new systematic approaches that first and foremost top the realities of life and human behavior. In May 2021, COVID-19 has caused in more than 170 million cases and over 3.400.000 deaths globally, over 5.200.000 cases and about 47.000 deaths in Turkey (“Worldometers,” n.d.). The first case of Turkey was announced by the Ministry of Health on March 11, 2020.

The COVID-19 pandemic has brought numerous challenges and problems to the food industry and supply chain. People have increased consumption and stocking up of such goods due to the isolation and quarantine orders by various governments. Food business have had to deal with this demand despite business operations and labor capacity constraints (COVID-19 Guidance: Businesses and Employers | CDC 2020; Montenegro and Young 2020). With the available literature, operational challenges are found in five key areas: food safety, production, logistics, pricing and food systems survivability (Montenegro & Young, 2020). We can add an additional item to this list: Distribution to the public. Maybe not just for pandemic but any other crisis situations and maybe not just foods but any other vital goods or services should have their own special distribution plans too.

27% of the world's population have access within a radius of fewer than 100 kilometers. When disrupted by logistics constraints and outflow channels, difficulty in both supply and local availability would arise. Thus, during a pandemic, food supply chains have the tendency to become more vulnerable to disruptions caused by such crisis (Impact Of Global Food Supply Chains During A Global Pandemic — AGRITECHURE n.d.; Montenegro and Young 2020). The COVID-19 pandemic has aggravated food insecurity in urban centers because of the disruption in the food supply chain, aggravation of the physical and economic barriers that restrict access to food, and the catastrophic increase in food waste because of labor shortages (Lal, n.d.).

Localization like small garden producing could be very important to access foods. Many sites have large areas of lawn that can actually be used for planting and growing crops, which would actually consume much less water. The authorities can support local food producing with free education or seed supply.

## 2. The Pandemic

Epidemic can be described as a disease in a community or region, and pandemic can be described as a widespread occurrence of disease in many countries or continents (ÜSTÜN-, 2020).

Table 1. A historical data of some of past pandemic diseases (LePan, 2020):

Name	Time period	Type / Pre-human host	Death toll
Antonine Plague	165-180	Believed to be either smallpox or measles	5M
Japanese smallpox epidemic	735-737	Variola major virus	1M
Plague of Justinian	541-542	Yersinia pestis bacteria / Rats, fleas	30-50M
Black Death	1347-1351	Yersinia pestis bacteria / Rats, fleas	200M
New World Smallpox Outbreak	1520 – onwards	Variola major virus	56M
Great Plague of London	1665	Yersinia pestis bacteria / Rats, fleas	100,000
Italian plague	1629-1631	Yersinia pestis bacteria / Rats, fleas	1M
Cholera Pandemics 1-6	1817-1923	V. cholerae bacteria	1M+
Third Plague	1885	Yersinia pestis bacteria / Rats, fleas	12M (China and India)
Yellow Fever	Late 1800s	Virus / Mosquitoes	100,000-150,000 (U.S.)
Russian Flu	1889-1890	Believed to be H2N2 (avian origin)	1M
Spanish Flu	1918-1919	H1N1 virus / Pigs	40-50M
Asian Flu	1957-1958	H2N2 virus	1.1M
Hong Kong Flu	1968-1970	H3N2 virus	1M
HIV/AIDS	1981-present	Virus / Chimpanzees	25-35M
Swine Flu	2009-2010	H1N1 virus / Pigs	200,000
SARS	2002-2003	Coronavirus / Bats, Civets	770
Ebola	2014-2016	Ebolavirus / Wild animals	11,000

Name	Time period	Type / Pre-human host	Death toll
MERS	2015-Present	Coronavirus / Bats, camels	850
COVID-19	2019-Present	Coronavirus – Unknown (possibly pangolins)	2.4M

Of course it is very important to take lessons from past experiences. But when we compare our environment and abilities with other pandemic periods in history, we can see many differences. Perhaps the most important of these are the development of communication technologies, as well as individualization in society and the dramatic changes in social structures. When we evaluate in terms of the affected mass, even if the closest example is seen as HIV -which has entered our lives since the 80's- when we look at the risk and ease of transmission, old influenza outbreaks can be taken as an example. However regardless of the similarities, it is not possible to say that COVID 19 is close to previous pandemics in terms of both geographical spread and disease character. When sociological and technological differences are added to this, it is obvious that we are faced with a brand new disease and problems that we have not encountered before. It is clear that we have to look for solutions to these problems that have not been applied before. Many practices and measures taken have been tried to be regulated through trial and error and by observing their effects on both individuals and society.

There is a report prepared by General Directorate of Public Health with the title The Pandemic Influenza National Preparedness Plan in 2019 (TC Halk Sağlığı Genel Müdürlüğü, 2019). In that report, it is assumed that the pandemic period will be 10-12 weeks if no intervention is made. The report also includes some -not so accurate- scenarios regarding the severity of the pandemic. But now, we all know the fact which is different.

Compared with past pandemics, the biggest difference of our period is undoubtedly the speed and ease of *accessing data*. In addition to ensuring the rapid dissemination of information, evolving communication capabilities have made it easier to manipulate people. It is not clear which information is true and which is false, and the reliability of the sources has been questioned. Even the structures established for this purpose are discussed and suspicions arise that they are working in the interests of the financiers and groups to which they belong. It is also a big problem that people can access all kinds of data so quickly, regardless of whether it is right or wrong, and that it contributes to its dissemination and development by evaluating it completely subjective in line with their own ideas and feelings. There is a laziness to turn data into qualified information. Evaluations are generally in line with the directions of the individuals and groups who are followed or valued.

This is a great opportunity for *foci* who have the necessary and adequate instruments. It has been opened the way for them to reach the goals that would take a very long time or even impossible to reach under normal conditions, in a relatively short time. The most obvious example of this, which no one denies, is the change in the current globalization design and the transition to a New Order. “Although this will require a historic leap, major crises often open the political space for radical reforms. Precisely at a time when rules-based multilateralism is in retreat, perhaps the fear and losses arising from COVID-19 will encourage efforts to bring about a better model of globalization.” (Derviş & Strauss, 2020)

### 3. The Problem

During this period, many private sectors experienced difficulties. We're in a consumption-based society, and in the early periods when people were locked up in their homes, they couldn't make the purchases they were used to. As a result, sales declined. Physical contact almost disappeared, and because of this there was a significant increase in internet sales. Inevitably, there were disruptions to cargo services. In addition, there have been some disruptions to supply chains and deliveries.

Employees have made serious sacrifices to ensure that some critical services can continue without disruption. Many government and municipal institutions have had to close certain departments or limit most of their services. Life has come to a standstill, except for the fulfillment of essential needs.

The measures that needed to be taken were either not taken or were late. As a result, constant changes were made in decisions and practices. From time to time, practices that had no use in fighting the epidemic came into force. The consequences of the practices in society and their effects in the short or medium term were not well calculated. This led to either a got step back or at least a waste of very valuable time.

There have been serious problems, especially in the health sector. Both mask and disinfectant production and physical environments in hospitals were insufficient to meet the needs. Let's look at the example of surgical mask supply.

Actually, mask is very basic and easy to produce stuff. Finding a mask was a problem in itself. Initially, overpriced mask sales were made by manufacturers who wanted to take advantage of the opportunity. People were desperate to pay up to 10₺ for 30kr masks. Then, sales of the mask were banned and told they could only be obtained from pharmacies. After that, it was announced that only the codes sent to the phones would be sold. A lot of people didn't have a code on their phones. Meanwhile, with tons of medical supplies were provided to many countries, especially those in Europe. Although this behavior is humanitarian, it has caused criticism of the government for primarily helping others rather than meeting the needs of their own people. Some “entrepreneurs” began to produce under dubious conditions in

order to take advantage of the opportunity. In short, approximately for first 3 or 4 months finding mask was very big problem.

It has caused a long debate, as it has not been clear whether the use of a mask is necessary, who should use it even if necessary, by both local authorities and the World Health Organization. At the time of the preparation of this document, the situation was still not clear and satisfactory.

Also trading a/was a big problem. Small tradesmen and SMEs in particular have had a very difficult time and have not been able to get enough support from the state. The government had given limited support them. Low-interest loans and deferred debits were good, but not enough. Because “debit was still debit” and “interest was still interest”. Many of other countries have given their small companies unrequited and unconditional monetary support.

Locking up people and the created atmosphere of fear have caused many social and individual problems. Maybe most of us have expected some changes but only started to realize what was happening in fact after 1 year. In many areas, such as health and trade, as well as education, friendships, eating habits, worship requirements, tourism, behavior of the private and public service sectors, it was necessary to go beyond the usual standards. As the academic researches and many projects carried out were concluded, both sociological and psychological consequences began to emerge about what happened. Since these studies can be done for a limited target audience and certain regions, they are at a level that can only give us an idea about the whole. Undoubtedly, more detailed and comprehensive studies will be conducted over time and due diligence will be made more accurately.

In previous pandemics, although it was seen that it was necessary to provide clear and clear information to the public in order to reduce fear and panic and build trust<sup>8</sup>, this sensitivity was not shown. From the early days of the pandemic, “if you don’t...!” messages of fear continue to be given.

If we have summarized the problem, we could say “we were unprepared”. What about now?

## 4. Analyzing the problem

### 4.1 What is system?

Naturally, when you say “System” everyone has a different meaning in their mind. The nature of this meaning is, without doubt, closely related to the education we receive, the work we do, the environment we live in, the events we deal with, in short, with our acquis. The system can be an operating system or network structure for a person interested in computers, a whole set of parts that make up a machine or factory for engineers, and a training process or a supply chain for soldiers. However, even though it is quite big and complicated, such as “health system, education system, economic system” we all hear, there are also organizations where almost everybody unites in a common denominator.

The system can generally be summarized as a whole that interacts with its environment, parts of that whole, and all the relationships  
e-ISSN: 2148-2683

between them. According to Aristotle, “The whole is more than the sum of its parts. The part is more than the fraction of the whole”. So when it comes to systems, two plus two can be more than four. In the same way, when four of them are split in two, the pieces can be larger than two.

Systems are organized and complex structures. The first structure that needs to be revived in our minds is human. When we went to the starting point, Allah (CC) first “wished” to create man. So at the first stage, man was just an idea. He then gave it the most beautiful shape and shaped it with soil. He then breathed out of his soul and completed the creation. Then man came into the world and had to prepare for world conditions for a while. He learned to survive and take advantage of the world's blessings. Eventually, he got old, died, and returned to the soil. Here we can see that there is a cycle that repeats for each person and has certain stages. If we need to sort the stages of this cycle (Hitchins, 2015b);

- Conception
- Design
- Creation
- Transition to Use
- Use, Life
- Senility, aging
- Replacement

We actually have a similar cycle in the world we live in. Doesn't it all start with an idea and end with death?

Not only these stages, but also inside the body, we see that there is a perfect mechanical system and it is in balance. It consists of cells, tissues, organs, organ systems and the organism i.e. the body, respectively. When people come together they form families or communities, then they form tribes or nations. It can be easily identified that each of these is a subsystem of the other. So we can talk about a hierarchical structure between systems (Hitchins, 2015a).

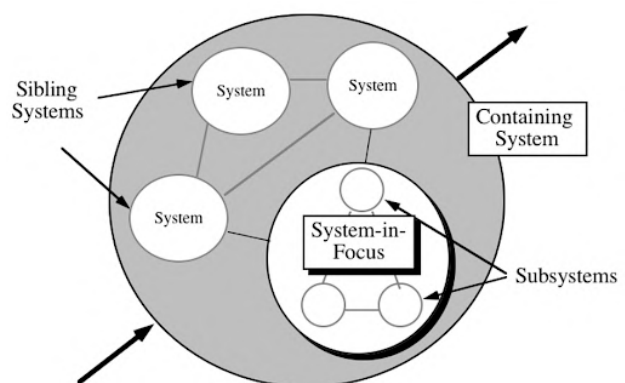


Figure 1

It is obvious that even if we understand what the system is, it will not be enough. So how do we design a system? What should we pay attention to? When is the “thing” we are trying to do become a functional system? Do mechanical engineers or accountants suffice to design a system like the transportation system? Or is a new actor needed to bring all the disciplines together? Are there any

parameters other than what we can see and hold with our eyes?

## 4.2 Systems Engineering

Well, would be engineering of the system? What do we actually mean telling by “systems engineering”? Although there are many different definitions according to those who think and care about the subject, there are basically agreed upon certain features. Let's sort these properties before making a definition with a single sentence (Hitchins, 2007):

- Wholes
- Synthesis of the whole from complementary parts.
- Finding answers/solutions to ‘whole problems
- Analysis
- Design
- Complexity
- Discipline and science
- Integrity
- Planning

The catch-all definition of systems engineering is;

*Systems engineering is the art and science of creating whole solutions to complex problems* (Hitchins, 2007).

or

*Systems engineering is synthesizing a complex system from less complex systems.*

The key point here is to isolate the jobs and make them independent departments of each other. In other words, “decomposition and abstraction”.

When you design a system to solve any complex problem, as you apply what needs to be and correct its errors, you get closer to the perfect, and then the more you start to look like the truly perfect one. The issue here is the “organization” knowledge and ability rather than the technology or possibilities you use.

In fact, system design is a natural part of our lives. When we cook, we act in a certain order. The cleaning works, the layout of the house and the supply of the work can always be considered as small systems within themselves. When we look around, we can see many designed / synthesized systems, some of them are interactive, some are hierarchical and some are independent.

SE deals with solving problems. When searching for optimal solutions various methods are used. The best known of these is the Systems Engineering Problem-solving Paradigm or SEPP (figure 2). It is found open or hidden in most transactions. SEPP is a solution-oriented method (Hitchins, 2015a).

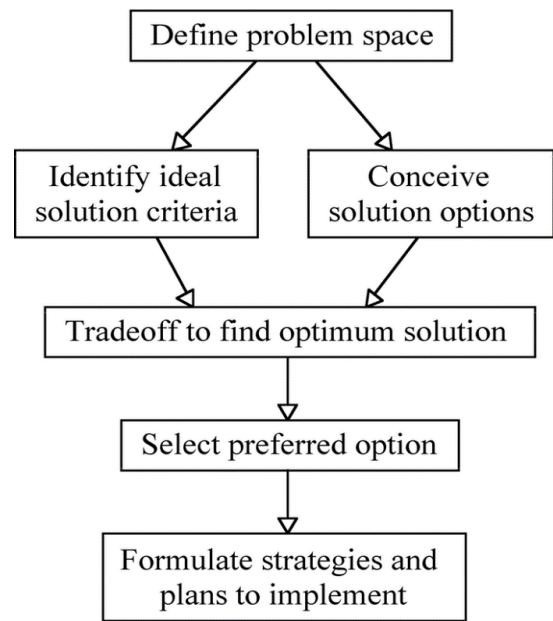


Figure 2

## 5. Building a Proposal

### 5.1 Systems Engineering Approach

Planning is critical to mitigating the sudden and potentially catastrophic impact of an infectious disease pandemic on society. National pandemic policy documents cover a wide variety of control options, often with nonspecific recommendations for action (Shearer, Moss, McVernon, Ross, & McCaw, 2020). Pandemic preparedness in Turkey began in 2004 and entered into legislation with the Prime Minister's circular in 2006 (“Wikipedia Web Page,” 2020). As mention before, National Pandemic Influenza Preparedness Plan was published by the Ministry of Health in December 2019. It has very detailed instructions but includes mostly preparation rules about health field and arrangements of human resources. There is almost nothing inside it about economy or production.

For crisis situations, we need a useful plans that also have some alternative applications. Epidemic prediction algorithms, mathematical modeling and simulations can be used to guide decision makers. But due to mutations and variants of the virus, accurate prediction may not always be made. However, even if it cannot meet all possible scenarios, there is a need to meet the basic needs of both society and individuals and to plan to maintain vital functions.

First we try to design a system and use the data we have. After designing phase, a simulation can be useful to understand what can be happened in which circumstances. Eventually, it comes to speed and reliability. But we do not have unlimited resources and we have to use them effective and wisely.

There are some methods (or tools) for designing systems. We are going to use “Structured System Analysis and Design Method” (SSADM). The whole structure and sub-levels is not subject of this study. We just show the very top level of the proposed system for a province. We will also use database tables and relationship diagrams to show overall structure. Our aim will be to present key points as clearly and comprehensively as possible, to establish a model that going to be easily adapted to various situations about product supply

chains.  
Here is the first and top level of the work:

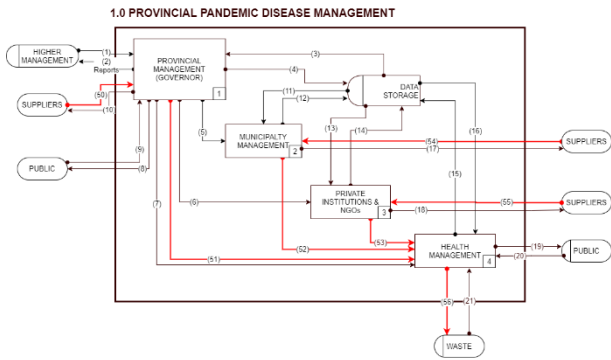


Figure 3. Black lines for information, red lines for material flow.

There are 4 independent departments and 1 data store:

1. Provincial Management (Governor). This department is headed by The Deputy Governor who is accountable to the Governor. Because, the Governor has to manage all province and has other responsibilities. In the board, the Departments, the Mayoralty, law enforcement, scientists, provincial directorates of ministries, food sector, some SMEs and some key suppliers are represented. This department manage the crisis. It gets the general policy from and reports the situation to the Higher Management.
2. Municipality Management. It should ready to serve to the public more than ever. Because, the city has a significant amount of supplies and manpower. It must have made them available to the Health Management.
3. Private Institutions and NGOs. Companies and organizations also get advices and orders from the Governorship and supports the Health Management.
4. Health Management. We can say, everyone work for this department.
5. Data Storage. Central software and database warehouse. Every department \*must\* connect this store and share information.

**Inputs:**

- (1) General Policy
- (9) Public Information
- (21)Waste Information
- (50, 54, 55)Supply Materials
- (20) Determine infected people

**Outputs:**

- (2) Report
- (8) Public Information
- (10, 17, 18) Supply Request
- (19) Treatment and patient follow-up
- (56) Special waste

**Departmental Relations:**

- (51, 52, 53) Medical and vital supplies and medicine
- The rest is information sharing via the Data Store.

As can be seen from our SSADM chart, one of the most important parts will be the supply of products and raw materials. In addition to supply, it is necessary to be prepared, especially in cases where basic necessities are not sufficient for the entire society.

With our existing technological capabilities, almost every citizen can be tracked separately, often instantly where and what he is doing can be observed. We will try to put aside the ethical discussions of this part of the subject and focus on how we can benefit from these

opportunities. Of course, the most ideal is that every citizen, regardless of his financial power, position in society, job or title, consumes as much resources as his true need with his consent without any compulsion. But in the case of coercive situations, it may be necessary to ensure that the division is conducted fairly and transparently by the authority.

**5.2 Database**

We have designed a relational database model, which stores data about material and goods supply chain. First, let we make some quick explanations about the database.

MySQL, the most popular Open Source SQL database management system, is developed, distributed, and supported by a private corporation (“MySQL,” n.d.). We used MySQL to design the database and the chart prepared with MySQL Workbench application.

Each box in the chart shows the database tables. The rows in the tables refer to the information stored, that is, the columns. Dashed lines between them were used to show the relationship between tables. In this design, it was enough to use only one-to-many type relationships. This means that there can be an infinite number of records in the associated table, for a single record in the source table. For example, a father may have more than one child, but each child can have only one father. Another example is that an invoice has only one header record, but can have an infinite number of details. Another thing about relationships is data consistency. By establishing a relationship between tables, for example, a detail record of an invoice without a header record cannot be entered. Even if it cannot be controlled by the software, the database engine does not allow such inconsistencies. Similarly, record deletions that can cause inconsistency are prevented.

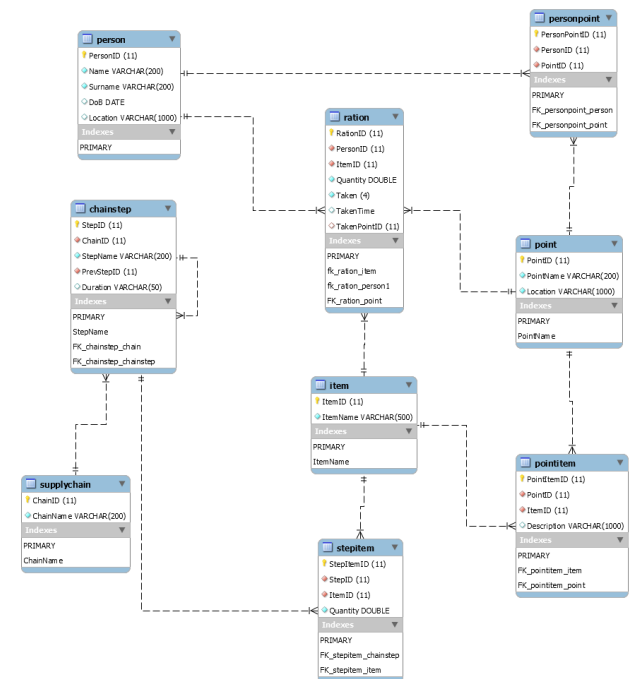


Figure 4

Fields with yellow key are primary keys (or indexes). Records in these fields can be unique within the entire table. This means that there cannot be two records with the same value for this field.

Indexes section shows index fields of the table. These fields are used to search data faster and access certain records, even if they do not have unique values.

### 5.3 The Design

There are 3 main (core) objects in the database: Person, item and point. The other tables have been used to describe the relationships between these objects. "The ration" is at the center of the diagram, but it depends on the main objects. Without them, we can't define any rights. Ration is a fixed amount of a commodity officially allowed to each person during a time of shortage, as in wartime or a crisis situations.

With our database design, the supply chain of each product can be defined step by step. It can be defined how long these steps take, how many quantities the product or sub-products can be produced or used at a time. Not only at what points the products can be found, but also the amount of rations of each person, from which points they can obtain these rights, can be stored until the date and time they receive delivery.

In addition, if local farmers identify their products to the system and leave them at delivery points, it will be possible for people in need to have information about this situation and access vital nutrients without the need for any intermediaries. With some small improvements, many details and vital information can be integrated into the system. For example, by exchanging data with the citizenship and address system, the population and address of each family can be provided. After local manufacturers define their net capacity in the system, supply and demand in a specific geographical area will be determined. If we go one step further, there may be problems with citizens' access to an extremely vital substance such as water due to failures in the water distribution system. In this case, again, with this database design, fair distribution of local water resources, such as special built water lines or drilled wells, can be made.

## 6. Conclusions

We have used information technologies' database design and systems engineering approach to build a solution proposal for access product and services in crisis situations. Of course, the most ideal thing is that every citizen, regardless of his/her financial power, position in society, job or title, consumes as much resources as his true need with his consent without any compulsion. With our solution, we can follow the supply chain of each product, the steps of these chains and each raw material of the products in detail. In the other hand, we can track every citizens' needing and make them access to the enough food or services. And our proposed system made all of these transparent.

## References

COVID-19 Guidance: Businesses and Employers | CDC. (2020). Retrieved June 13, 2021, from <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/community/guidance-business-response.html>

Derviş, K., & Strauss, S. (2020). What COVID-19 means for international cooperation. Retrieved December 25, 2020, from The Brookings Institution website: [https://www.brookings.edu/opinions/what-covid-19-](https://www.brookings.edu/opinions/what-covid-19-means-for-international-cooperation/)

[means-for-international-cooperation/](https://www.brookings.edu/opinions/what-covid-19-means-for-international-cooperation/)

Hitchins, D. K. (2007). *Systems Engineering: A 21st Century Systems Methodology*. Wiley.

Hitchins, D. K. (2015a). System Models Website. Retrieved March 1, 2021, from <http://systems.hitchins.net/systems/systems-models/index.html>

Hitchins, D. K. (2015b). Youtube Video. Retrieved February 20, 2021, from <https://youtu.be/BEvW9B64tsM?t=292>

Impact Of Global Food Supply Chains During A Global Pandemic — AGRITECTURE. (n.d.). Retrieved June 13, 2021, from <https://www.agritecture.com/blog/2020/5/7/impact-of-global-food-supply-chains-during-a-global-pandemic>

Lal, R. (n.d.). *Home gardening and urban agriculture for advancing food and nutritional security in response to the COVID-19 pandemic*. <https://doi.org/10.1007/s12571-020-01058-3/Published>

LePan, N. (2020). Visualcapitalist. Retrieved February 20, 2021, from <https://www.visualcapitalist.com/history-of-pandemics-deadliest/>

Montenegro, L. D., & Young, M. N. (2020). Operational Challenges in the Food Industry and Supply Chain during the COVID-19 Pandemic: A Literature Review. *2020 7th International Conference on Frontiers of Industrial Engineering (ICFIE)*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/ICFIE50845.2020.9266743>

MySQL. (n.d.). Retrieved May 30, 2021, from <https://dev.mysql.com/doc/refman/8.0/en/what-is-mysql.html>

Shearer, F. M., Moss, R., McVernon, J., Ross, J. V., & McCaw, J. M. (2020). Infectious disease pandemic planning and response: Incorporating decision analysis. *PLoS Medicine*, *17*(1), 1. Retrieved from <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1003018>

TC Halk Sağlığı Genel Müdürlüğü. (2019). *Pandemik İnfluenza Ulusal Hazırlık Planı*.

ÜSTÜN-, Ç. (2020). Pandemi Tarihinde Üç Hastalık ve Covid-19 Pandemisinin Sosyal Etkisinin Bu Hastalıklarla Değerlendirilmesi. *Journal of Turkish Studies, Volume 15*(Volume 15 Issue 4), 1215–1226. <https://doi.org/10.7827/turkishstudies.44303>

Wikipedia Web Page. (2020). Retrieved March 10, 2021, from [https://tr.wikipedia.org/wiki/Pandemik\\_İnfluenza\\_Ulusal\\_Hazırlık\\_Planı](https://tr.wikipedia.org/wiki/Pandemik_İnfluenza_Ulusal_Hazırlık_Planı)

Worldometers. (n.d.). Retrieved May 29, 2021, from <https://www.worldometers.info/coronavirus/>



## Fay Kayası Mineralojisinde Deformasyonun Rolü

Ayşe Didem Kılıç<sup>1\*</sup>, Tuğçe Karaca<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Bölümü, Elazığ, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-3743-8631), [adkili@firat.edu.tr](mailto:adkili@firat.edu.tr)

<sup>2</sup> Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, Türkiye (ORCID: 0000-0001-7233-8797), [tuğcekaraca51@gmail.com](mailto:tuğcekaraca51@gmail.com)

(İlk Geliş Tarihi 6 Temmuz 2021 ve Kabul Tarihi 20 Kasım 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.963097)

**ATIF/REFERENCE:** Kılıç, A. D., Karaca, T. (2021). The Role of Deformation in Fault Rock Mineralogy. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (27), 942-949.

### Öz

Doğu Anadolu Fayı boyunca yeralan magmatik ve sedimanter kayaç grupları, aktif fay tektoniği nedeniyle, breşten fay kilinine kadar farklı tane boyutunda fay kayalarının geliştiği geniş bir zondur. Doğu Anadolu Fay Zonu boyunca; Karbonatlaşma, silisleşme ve cevher oluşumları gelişmiştir. Alterasyon ve farklı cevher oluşumlarının varlığı, tektonizma, deformasyon ve jeokimyasal işlevlerin bir sonucudur. Bu kayaçlarda, yaygın olarak serpantin, karbonat, talk, montmorillonit, illit, klorit gibi alterasyon ürünü minerallerin varlığı, ayrıca manyezit gelişimi, sıcaklığa, redüksiyon ve permeabiliteye işaret eder. Mineralojik incelemelerle belirlenen kalsit, hematit, limonit ve klorit mineralleri progresif alterasyonu, yüksek CO<sub>2</sub> ve kalsiyum içeriği ise hidrotermal akışkanların, Mg-silikatlar üzerindeki etkisini gösterir. Mikroskopik incelemeler ve jeokimyasal veriler, breşik veya kil boyutundaki tüm fay kayalarında, karbonatlaşma ve eşlik eden silisleşmenin geliştiğini gösterir. Bu durum, aktif tektoniğin, orta derece sıcaklığın ve kayaç permeabilitesinin sonucu olup, tektonik aktivite silis oluşumunu artırır. Silisli-karbonat gelişimi sırasında, sıcaklığın orta-yüksek derecede olması, deformasyon sırasında mineraller arası reaksiyonun hızlanmasına sebep olur.

**Anahtar Kelimeler:** Silisleşme, Alterasyon, Pirit, Doğu Anadolu Fayı.

## The Role of Deformation in Fault Rock Mineralogy

### Abstract

The Igneous and sedimentary rock groups along the East Anatolian Fault have caused formation of fault rocks in different grain sizes from breccia to fault clay due to active fault tectonics. The carbonation, silicification and mineralizations developed along its are the result of tectonism, deformation and geochemical functions. In these rocks have been determined alteration product minerals such as serpentine, carbonate, talc, montmorillonite, illite and chlorite. Furthermore, magnesite minerals shows temperature, reduction and permeability. The progressive alteration of calcite, hematite, limonite and chlorite minerals determined by mineralogical studies. They shows effect of hydrothermal fluids with high CO<sub>2</sub> and calcium content on Mg-silicates. The Microscopic studys and geochemical data show that carbonation and accompanying silicification in all brecciated or clay-sized rocks are due to active tectonism, medium temperature and permeability. During siliceous-carbonate development, the medium-high temperature causes acceleration of inter-mineral reaction during deformation.

**Keywords:** Silicification, Alteration, Pyrite, East Anatolia Fault.

\* Sorumlu Yazar: [adkili@firat.edu.tr](mailto:adkili@firat.edu.tr)



## 1. Giriş

Türkiye'nin Kuzey Anadolu fayından sonra en önemli aktif faylarından birisi olan Doğu Anadolu Fay zonu, birçok araştırmacı tarafından 1960'lı yılların başından itibaren önemli çalışma alanı olmuştur. İlk defa Altınlı (1963) tarafından Karlıova ile Bingöl arasında tanımlanan bu fay, daha sonra Allen (1969) tarafından yapılan bir çalışmada kuzeyde, Kuzey Anadolu Fayı (KAF) ile kesiştiği, güneyde ise Ölü Deniz Fayı'nın (ÖDF) devamı niteliğinde olduğu ifade edilmiştir. DAF'nın bölgesel ölçekte ilk kez haritalanması ve fay ile ilgili bazı morfolojik yapıların (yükselim ve çöküntü alanları) varlığı ise Seymen ve Aydın (1972) ve Arpat ve Şaroğlu (1975) tarafından yapılan çalışmalarda ifade edilmiştir. Yaklaşık 5-8 mm/yıl kayma hızı gösteren Doğu Anadolu Fayının atım miktarı, 15-22 km arasında ve yaşı Üst Pliyosen'dir (Demirtaş, 2003). Kuzey-güney yönlü sıkışmalı tektonizma etkisindeki bölgede, Miyosen-Erken Pliyosen zaman aralığında, ters faylar ve kıvrımlar gelişmiştir. Kıvrım eksenleri sıkışma yönüne diktir. Geç Pliyosen'den itibaren doğrultu atım tektoniği etkin olup, kuzeybatı ve kuzeydoğu uzanımlı sağ/sol yanal doğrultu atımlı faylar tüm tektonik sıkışma izlerini kesmiş veya ötelemiştir (Köküm, 2019).

Fay kayaları, fayın hareketi sırasında makaslama zonu mekaniği sonucu oluşan farklı büyüklükte kayaç türlerini kapsar (Davis ve Reynolds, 1966; Sibson, 1977). Fay kayalarının adlandırılması ve sınıflandırılması çoğu araştırmacı tarafından gruplandırılmış (Spry, 1969; Higgins, 1971; Sibson, 1977; Wise vd., 1984) olup, en yaygın kullanım Sibson (1977) tarafından yapılan sınıflamadır. Bu sınıflamada, fay kayalarını, kabuğun sıg ve derin seviyelerinde makaslama zonu içerisinde yer alan kaya türlerini; breş serisi, kataklasit serisi ve milonit serisi olarak üçe bölmüş ve fiziksel koşulların (örn. sıcaklık, sürtünme özellikleri) fay kayaçlarının oluşumunda etkin olduğunu belirtmiştir.

Farklı araştırmacılar tarafından (Miller, 1998; Bonzanigo vd., 2007; Lebourg vd., 2011; Satsukawa ve Lin, 2016; Lubiniecki vd., 2019) makaslama zonu boyunca gelişen deformasyon kinematiki üzerine yapılan çalışmalar ile fay zonu kayalarında yapısal, dokusal ve mineralojik değişimler incelenmiştir. Makaslama zonu sünümlü ve gevrek deformasyonun dokusal ve mineralojik farklılıkları (Wang vd., 2020), neo-mineralizasyon, hidrotermal alterasyon ve deformasyon gibi değişimler (Orioloa vd., 2018), makaslama zonlarındaki gevrek ve sünümlü kayaçlarda akışkan ve stres basıncının etkisi ve mikroyapısal analizlerle mineral kimyasının değişimi çalışılmıştır (Prando vd., 2019). Leydier vd. (2019) yaptıkları çalışmada, Doğu Alpler'deki makaslama fayı içerisinde sünümlü deformasyon üzerinde tektonizmanın kontrolünü ve gevrek deformasyonda akışkanın tolünü deformasyon zamanıyla ilişkilendirerek tartışmışlardır. Yaklaşık 450°C sıcaklık ve yüksek akışkan basınç koşullarında, sürtünmeli ve viskoz deformasyonun düşük hareketlerle geliştiğini, yavaş depremlerin yitim bölgeleri ile sınırlı olmayabileceğini, ancak aynı zamanda günümüz kıta-kıta çarpışma ortamlarında akışkan deformasyonun meydana gelme olasılığının yüksek olduğunu ifade etmişlerdir. Strauhal vd. (2017) tarafından Avusturya Ötztal-Stubai kristalin kompleksinde yapılan çalışmada, makaslama zonlarının yapısal özelliklerini, mineralojik bileşimlerini ve kayaçların jeomekanik davranışlarını karşılaştırarak, makaslama yüzeylerindeki kumlu-çakıllı fay breşlerinin montmorillonit, mika ve klorit gibi filossilikatları içerdiğini belirlemişlerdir.

Ülkemizde Batı Anadolu'da Menderes Masifi yakınında düşük açılı sıyrılmaya fay zonunda (Hetzl vd., 1995), Gediz Fay

Zonu'nda (Sarıkaya, 2004), Simav Fay Zonu'nda (Işık vd., 2003) ve Orta Anadolu'da Savcılı Fay Zonu üzerinde (Çağlayan, 2010) fay kayaları ile ilişkili çalışmalar varolmasına rağmen, DAF üzerinde benzer bir çalışma mevcut değildir. Bu çalışmanın amacı, Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) içerisinde görülen fay kayalarının mineralojik ve petrografik özelliklerini, deformasyon ve alterasyon mineralojisi bakımından değerlendirmektir.

## 2. Materyal ve Metot

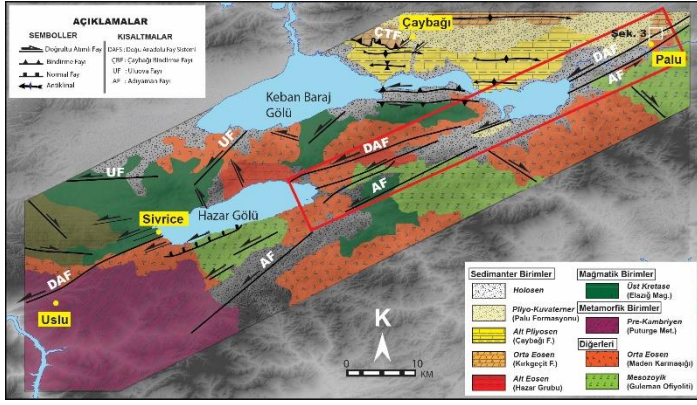
İnceleme konusu makaslama zonu kayaçları olması sebebiyle, petrografik amaçlı ince kesitlere ilave olarak tüm kaya ICP-MS analizi ve X-Ray Difraktometre analizi yapılmıştır. Araziden 30 tane kayaç ve toz numune alınmıştır. Fay kayaları gruplandırılmış ve Fırat Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği laboratuvarında 2x2x2.5 cm levhalar halinde kesilerek ince kesitleri hazırlanmıştır. Mikroskopik adlandırma için, yapılan ince kesitler Leica marka polarizan mikroskopta incelenmiş ve fotoğraflama yapılmıştır. Petrografik incelemeler sonucunda tüm kayaç kimyasal analizleri için seçilen örneklerden 12 adet örnek tüm kayaç ana oksit, iz ve nadir toprak element analizleri için ACME Analitik Laboratuvarları'na (Kanada) gönderilmiştir. Ana oksit ile iz ve nadir toprak element analizlerinde ICP-AES (indüktif coupled plasma-atomic emission spectrometresi) ve ICP-MS (inductively coupled plasma-mass spectrometry) yöntemleri kullanılmıştır. Elde edilen jeokimyasal sonuçlar, Tablo 1 ve Tablo 2'de verilmiştir.

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

### 3.1. Jeoloji

İnceleme alanında, Kretase'den günümüze kadar değişen yaş aralığında ve farklı türde kaya birimleri yüzeylenmektedir (Şekil 1). Bunlardan, allokon konumlu ve en yaşlı litolojik birim, Pre-Kambriyen yaşı verilen Pütürge metamorfittir. Sonraki çalışmalarda birimin granitik gnayslardaki zirkonlarda yapılan U-Pb analizi, 500-550 milyon yıl verisi elde edilmiş olup, birimin yaşı için Geç Kretase-kampaniyen önerilmiştir (Kılıç ve Ateş, 2015). İlerleyen (Amfibolit fasiyesi Stavrolit zonu) ve gerileyen (Yeşilist fasiyesi) özelliğinde iki farklı metamorfizma izi taşıyan birim, yaklaşık 628°C civarında bir metamorfizma sıcaklığına maruz kalmıştır. Bu birim, Doğu Anadolu Fay'ının Güneybatı uzanımında yüzeyleme vermektedir. Bir diğer birim, Üst Kretase yaşlı Guleman Ofiyoliti'dir. Guleman ofiyoliti eksik dizi karakterli bir birim olup, esasen peridotit kayaçlardan oluşur. Diyabaz ve plajiyogranit dayk ve damarları ile kesilen birim tektonizmadan oldukça fazla etkilenmiştir. Guleman ofiyoliti, DAF zonu üzerinde KD-GB yönlü uzanım gösterir. DAF'ın kuzeyinde Üst Meastrihtiyen-Orta Eosen yaşlı Hazar Grubu, diğer birimlere nazaran geniş yayımlıdır. Benzer şekilde, Orta Eosen yaşlı Maden Karmaşığı ile Orta Eosen yaşlı Kırkgeçit formasyonları da geniş alanlarda yayılım sunar. DAF zonu üzerindeki en genç birimler; Alt Pliyosen yaşlı Çaybağı Formasyonu, Pliyo-kuvaterner yaşlı Palu Formasyonu ve güncel alüvyonların geliştiği Holosen yaşlı dere yatağı çökelleridir (Şekil 1).

Doğu Anadolu Fay'ı K60°D doğrultulu ve yaklaşık 77 km lik bir uzanıma sahiptir. Deformasyon izlerinin en yaygın gözlemlendiği ve fay kayalarının yayılım sunduğu alan Kalebaşı tepesi ve çevresidir (Şekil 1). Şekil 1'deki jeolojik harita üzerinde de görüldüğü gibi bu alanda Kırkgeçit Formasyonunun kireçtaşları izlenir.



Şekil 1. DAFZ ve inceleme alanının jeolojik haritası (kırmızı ile çevrelenmiştir). DAF: Doğu Anadolu Fayı, AF:Adıyaman Fayı, ÇBF:Çaybağı Bindirme Fayı, UF:Uluova Fayı (Akbaş vd., 2011'dendeğiştirilerek alınmıştır).

### 3.2. Mineraloji-Petrografi

Doğu Anadolu Fay zonu volkanik, magmatik ve sedimanter kayaç grupları şeklinde farklı kayaç birimlerini keser (Şekil 1). Sibson (1977) tarafından tanımlanan fay kayaları esas alınarak, inceleme alanında breş, milonit, kataklazit, klast ve fay kili olarak beş tür kaya belirlenmiştir. Bu sınıflamada fay kayaları fiziksel koşulların (örn. sıcaklık, sürtünme özellikleri) yanında dinamik koşulların kayaç türlerinde gösterdiği farklılıkları da kapsamaktadır. Örneğin, kuvars-feldispat minerallerince zengin Elazığ magmatitleri içerisinde yer alan asitik kayaçlarda (Granit, monzonit), fay zonu içerisinde kalan bölümlerinde elastik-sürtünmeli davranış gösteren fay kili daha yaygın olarak izlenirken, breş, kataklazitik seri kayaçları daha çok volkanik veya kireçtaşı gibi kayaç türlerinde izlenir.

Doğu Anadolu fayının geçtiği alanlardaki kayaç birimlerinden kısmen Elazığ Magmatitleri ve yaygın olarak Maden Karmaşığı daha breşik (%30 dan fazla ana kaya parçası) bir özellik gösterirken, Kırkgeçit ve Palu Formasyonlar'ı milonitik ve fay kili (%30 dan az ana kaya parçası) özeliği gösterir. Bağlayıcı malzeme oranına göre bu kaya türleri; Mikrobreş (%0-10), kataklazit (%50-90), foliyasyon gösteren gözlü milonitler (%50-90), milonitler (%50-90) ve fay kili şeklindedir.

Gözlü milonit-Milonit, fay boyunca genel olarak KB doğrultulu iken, ölçülen foliyasyon düzlemleri KD doğrultuludur. Sınırlı bir alanda görülen mineral lineasyonları ise K-KD doğrultulu ve yaklaşık 25°GB eğim vermesi ile foliyasyona hemen hemen paralel olduğu anlaşılır. Arazi çalışmalarında, DAFZ içerisindeki milonitik zonun Kırkgeçit Formasyonu ve Hazar Grubu kayaçlarında gelişmiş olması, bu birimlerin kireçtaşı ve killi kumtaşı litolojisinde olmaları nedeniyledir (Şekil 2).

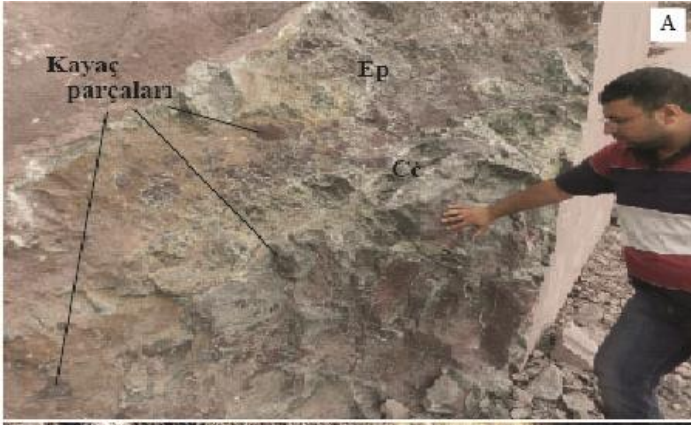
Mikrobreş, milonitik şist, milonit ve kataklazitten oluşan fay kayaları, DAF zonu içerisindeki litolojik birimlerden kayaç parçaları içerir. Fayın sığ üst bölümünde yani gevrek deformasyonun en yoğun görüldüğü kısmında mikrobreşler yaygındır. Bu fay kayaları, Maden karmaşığı ve Kırkgeçit Formasyonlarından değişen büyüklükte parçalar almıştır (Şekil 2). Fay zonu boyunca mikrobreş, çakıltaşı ve detritik kireçtaşı orta katmanlanmalı bir yapı gösterir ve yer yer kiltası, killi kireçtaşı seviyeleri ile arakatmanlanlı gri/boz renkli kumtaşı çakıltaşı, mikrobreş ile birlikte izlenir (Şekil 2C).

Kataklazitler, afanitik dokuda ve yönlenme göstermeyen yaklaşık 0.2 mm'den küçük boyutludur. Fay kayası olarak klastlar <math><30\%</math> altındadır. Klastlar, milonitlerden tane boyutu ve kısmen yönlenme göstermemeleri ile farklıdır (Şekil 3). Kırılğandan sünek deformasyona geçiş, 300–400°C sıcaklıklarda ve metasomatik reaksiyonların varlığında gelişebilir. Örneğin; albit mineralinin, muskovit veya K-feldispat ile yer değiştirmesi veya klorit ile biyotitin yer değiştirmesi, epidot ve hornblend'in klorite dönüşmesi gibi (Şekil 4). DAF zonu kayalarının mikroskop incelemelerinde de sıkça gözlenen klorit, 400° C'den daha düşük bir sıcaklık aralığının işaretidir (Warr ve Cox, 2001). Fay zonlardan derine inildikçe yani yüksek sıcaklıklarda (1200°C), serbest elektronların varlığı, alterasyon reaksiyonlarını hızlandırır. Örneğin lokal redoks koşullarında, simektit, montmorillonit ve pirit mineralleri, kaolinit ve karbonat minerallerine dönüşür (Şekil 5).

Fay kili, faylanmaya bağlı olarak açığa çıkan ısı ve hidrotermal akışkanların etkisiyle, kayaç türlerinin ufalanması sonucu gelişmiştir. İnceleme alanında yapılan bir çalışmada (Kılıç, 2021) kil örneklerinin X-ışınımı difraktometresi analizlerinde; Serpantin, talk, manyezit, illit, montmorillonit, klorit, kalsit ve dolomit belirlenmiştir. Karbonat ve kil minerallerinin varlığı ise hidrotermal çıkışların sonucudur. Fay zonu deformasyonunda, ana kaya bileşimi, ortamdaki akışkanlar kadar önemli olan bir diğer faktör de kayaç permeabilitesidir (Kılıç ve İnceöz, 2014). Karbondioksit bileşimli akışkanlar, kırık ve çatlak yüzeylerine yerleşirken kalsit, dolomit türü karbonat mineralleri gelişir.

Doğu Anadolu Fay zonunun belirli bir kesimini kapsayan çalışma alanında (Şekil 1'de kırmızıyla çevrelenmiştir), deformasyona bağlı alterasyonlar, hidrotermal cevherleşmeler ve farklı özelliklerde fay kayalarının gelişmiş olması aktif tektonizmanın bir sonucudur (Şekil 3, 4,5).

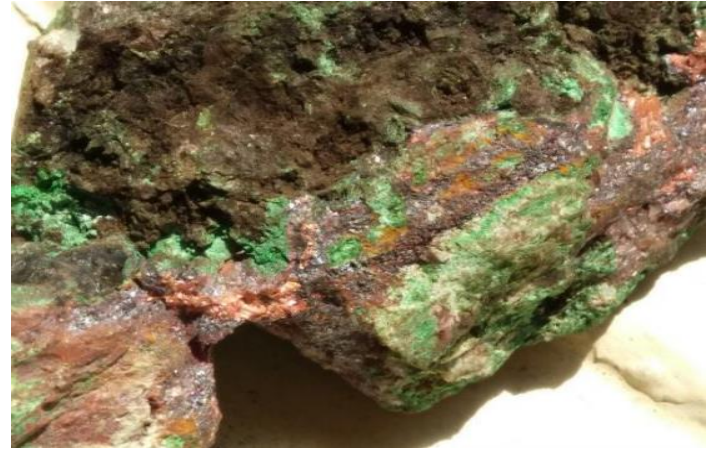
İnceleme alanında, magmatikten sedimantere kadar farklı kaya türleri bulunur. Bu kayaların dayanımları ve bileşimleri birbirinden farklı olduğundan, tektonizma sonucu farklı alterasyonlar gelişir. Genel olarak, karbonatlaşma, serizitleşme ve silisleşme yaygın fay kayası alterasyonlarıdır (Şekil 5). Bu tür alterasyonların gelişiminde, kayacın mineral içeriği, etkili stres basıncı, sürtünme ısısı gibi fiziksel koşullar etkilidir (Andreani ve diğ., 2009; Ash ve Arksey, 1990) Fay breşi ve kataklazitlerin çatlak ve oyuklarda karbonat mineralleri belirgindir (Şekil 4, 5). Hematitleşme ve limonitleşme gibi oksidasyon zonları ile pirit, epidot, malahit gibi hidrotermal işlevlerin ürünü mineraller, breşik fay kayalarında fazla miktarda, milonit ve klastlarda nadiren izlenen diğer oluşumlardır (Şekil 4).



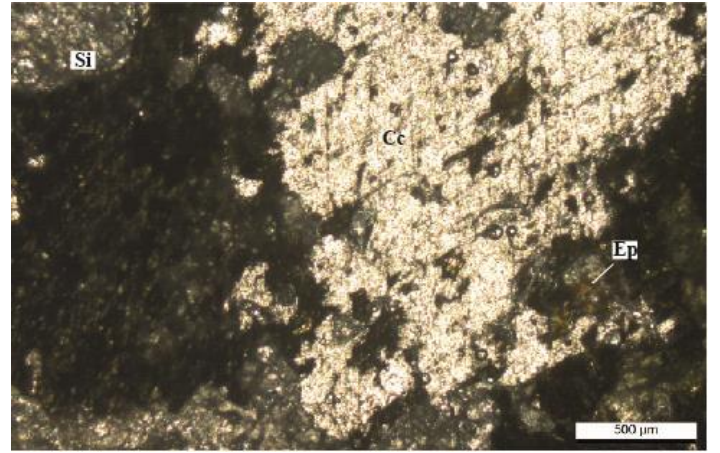
Şekil 2. Fay kayalarından alınmış arazi görüntüleri. A)Breşik kayaçlar; B)Kataklaç ve fay kili, C)Mikrobreş, çakıltaşı arıdanması.



Şekil 3.Fay zonu boyunca kataklastik kayaçların görünümü



Şekil 4. Fay zonu alterasyon mineallerinin el örneği görünümü



Şekil 5. Karbonatlaşma, serizitleşme ve silisleşmenin mikroskop görüntüsü

### 3.3. Jeokimya

Doğu Anadolu Fay zonunun içinde yer alan farklı kökenli kayaçlardan ibaret fay kayalarından (breş, milonit, kataklaç) jeokimyasal tüm kayaç ana oksit ve iz element analizleri yapılmış ve sonuçlar Tablo 1’de verilmiştir. Bu sonuçlarda, fay kayalarının malzeme aldığı sedimanter kökenli, Kırkgeçit ve Palu formasyonlarına ait örneklerin CaO oranının yüksek olduğu görülür. Breşik yapıdaki çamurtaşlarında kalsit/dolomit gibi karbonat minerallerinin varlığı, kalsiyum içeriğinin yüksek olmasına bağlanmıştır. Ancak, çatlak izleri içerisinde de yaygın olarak silis mineralleri bulunur. SiO<sub>2</sub>’nin tüm kayaç gruplarında yüksek olması silisleşmeye, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve CaO harici diğer ana oksit oranlarının yüksek olması cevherleşmelerde sebep olan hidrotermal akışkanlara bağlanmıştır. Bu durum, fay kayası örneklerinde karbonatlaşma ve hidrotermal etkilerle gelişen yaygın bir alterasyonun kanıtıdır. Ana oksitlerden CaO, sedimanter örneklerde ortalama %18.76- 17.35, magmatiklerde ortalama %4.16-18.44’dır. Maden karmaşığına ait breşik özellikteki örneklerde ise bu değer ortalama %18.44 olup yüksektir. Karbonatlaşma ve silisleşmenin geliştiği örneklerde, Ni, Co, Na<sub>2</sub>O ve MnO oranları yüksektir. NaO, MnO miktarı fay kili örneklerinde ana kayaya göre yüksek olup, kil minerallerinden montmorillonit varlığı görülür.

Caritat ve diğerleri (2017) tarafından kullanılan element oranları için korelasyon analiz diyagramları, fay kayaları için de kullanılmıştır. Bu diyagramlarda, Alüminyum ve diğer major elementlerin kıyaslandığı bu diyagramlarda, Al’un, Ca elementi dışında Si, Na, Fe, K, Ti ve P elementlerince pozitif bir değişim

gösteriyor olması, karbonat minerallerinden ziyade bu elementlerin silikat içeriğinden kaynaklandığını işaret eder (Strauhal ve diğ., 2017; Kılıç, 2017). Bi diğer oksitlerden MgO'nin Palu Formasyonuna ait örneklerde ortalama %5.59, Kırkgeçit Formasyonuna ait örneklerde ortalama %3.65, magmatitlerde ise ortalama %2.42-24.74'dir. Aynı zamanda MgO, K, P, Ti, Cr gibi ana oksitlerle pozitif bir değişim ve Ca, Mn, Na gibi ana oksitlerle negatif değişim gösterir (Tablo 1,2). Bunun olivin, piroksen gibi ferromagnezyen minerallerden veya hematitleşmeden kaynaklanabileceği sonucuna varılmıştır. Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oranı ise, Palu Formasyonuna ait örneklerde ortalama %5.24, Kırkgeçit Formasyonuna ait örneklerde ortalama %5.39, magmatitlerde ise %7.56-5.42 dir. Mg, K, Ti, P ve Cr gibi ana oksitlerde pozitif artış görülür. Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> değerinin, CaO ve Na<sub>2</sub>O ana oksitlerle negatif bir azalma eğilimi sunması, Mg-Fe oksit minerallerinin varlığına ve alüminyum silikat alterasyonuna bağlanmaktadır (İnceöz ve Kılıç, 2014; Kılıç ve Arslan, 2018).

İz elementler açısından fay kayaları irdelendiğinde, Ba miktarı Palu Formasyonuna ait örneklerde, ortalama 171 ppm, Kırkgeçit Formasyonuna ait örneklerde, ortalama 166 ppm, diğer magmatik birimlerde ise 4.3-156 ppm arasındadır. Ba aslında Rb ve Sr gibi feldispat ve biyotit oranına bağlı bir elementtir (Tablo 2). Baryum, Kalsiyum ve Stronsiyum elementlerinin yüksek oranı, plajiyoklaz minerallerinin sedimanter birimlere göre magmatitlerde yüksek olmasından ileri gelir. Stronsiyum, alterasyon sırasında kristal yapıdan hızla uzaklaşan bir özellik göstermesi fay killeriindeki yüksek stronsiyum da açıklar (Wilson, 1989). Özellikle, karbonatlara bağlı olarak Stronsiyum, Kalsiyum ile pozitif değişim gösterir. Bir diğer iz element Rb, K-feldispat ve biyotit minerallerinin yapısında mevcut olan bir elementtir. Genellikle, ana elementlerden K ile birlikte, sedimanter birimlerde ortalama %1.19, magmatik birimlerde ise ortalama % 0.97 kadar bulunur.

Cu, Fe ve Na ana elementinin yerine geçebildiğinden alterasyon derecesine göre kil minerallerinin bileşiminde de görülebilir. Bazik magmatitlerde özellikle Maden Karmaşığı'na ait örneklerde Cu'nın yanında Co'nın da yüksek olması kökenin bazik olmasını ve alterasyondan az etkilenmeyi gösterir. Analizi yapılan örneklerin Co miktarı sedimanter örneklerde ortalama 21.25-22.5 ppm, magmatiklerde ortalama 47-25.7 ppm dir. Bu durum, olivin, piroksen, amfibol (hornblend) ve mika (biyotit) minerallerinin magmatik örneklerde fazla olmasının işaretidir. Sedimanter birimlerde Fe-Co'nın yüksek oranda ve doğrusal artış göstermesi, Co<sup>+2</sup> elementinin Fe<sup>+2</sup> elementi ile yer değiştirebilmesi özelliğinin bir sonucudur. Zn sedimanterlerde ortalama 35.3-36.5 ppm, magmatik birimlere ait örneklerde ortalama 50-55 ppm' dir. Mika, feldispat ve kil gibi alüminosilikatlarda bulunan çinko, Fe ve Mg<sup>+2</sup> ana elementleri ile yer değiştirebilir (Brindley and Brown, 1980). Bu nedenle, çinkonun demir ile pozitif değişim göstermesi, bu elementin mafik detritik silikatlarından kaynaklanabilir. Çoğunlukla, Çinko sülfid fazında da bulunabilen bir elementtir (Hanski, 1986). Ayrıca, Zn elementinin Sr ve Ca gibi karbonatlara bağlı elementler ile negatif değişimi, sülfid-karbonat fazı ayrışmasının işaretidir (Tablo 2). Mg'un iyon yarıçapının farklı olması ve kristal içerisinde Ca>Cr>Fe>Co iyon yarıçapı

büyüklüğüyle diffüzyon gelişmesi, mineralin yapısında çinkonun nikelenden, nikelin bakırdan, bakırın ise kobaltdan hızlı hareketi alterasyon ve diffüzyon bağımlı gösterir.

Fay kayalarında Th, U, Y ve Sr gibi elementlerin daha fazla olması, tektonohidrotermal işlevlerin işaretidir (İnceöz ve Kılıç, 2014). Düşük Ni'e nazaran yüksek As oranı, silisleşme ve karbonatlaşmayı gösterir (Rolinson, 1993). Nb oranı incelendiğinde, breşik ve milonitik yapıdaki sedimanter örneklerde ortalama %4, magmatik örneklerde ortalama %6 dir. Bunun sebebi rutil, zirkon ve sfen gibi aksesuar mineralleri olabilir. Çünkü Nb bu minerallerde yüksek oranda bulunur. Feldispat ve kuvars minerallerinde bulunan Y elementi, Ca<sup>+2</sup> ana elementinin yerini alabilir. Ancak, Y elementi sedimanter örneklerde ortalama 13.6 ppm, magmatiklerde ortalama 0.43-14.2'dir. Co oranının >10 ppm üzerinde olması, kalsit oranıyla ilgili olup karbonat-silikat ayırımında belirleyicidir.

Tablo 1. DAF zonu fay kayalarının ana oksit veirleri

Oksitler	Elazığ Magmatitleri			Maden Karmaşığı			Kırkgeçit Formasyonu			Palu Formasyonu	
	TE-1	TE-2	TE-3	TM-1	TM-1	TM-1	TK-1	TK-2	TK-3	TP-1	TP-2
SiO <sub>2</sub>	61.80	62.10	55.91	2.07	10.40	32.69	37.26	37.06	38.31	37.95	36.88
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.84	17.46	14.90	0.08	0.05	14.40	9.88	9.75	9.63	9.11	9.63
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7.71	7.50	7.47	5.45	3.11	7.72	5.40	5.31	5.27	5.08	5.41
MgO	1.40	1.35	4.50	18.18	19.17	36.89	3.73	3.78	3.44	5.02	6.17
CaO	3.59	3.08	5.82	28.64	26.34	0.34	19.66	19.70	19.92	18.2	16.51
Na <sub>2</sub> O	4.30	4.24	4.29	0.05	0.02	5.42	1.24	1.19	1.20	0.96	0.73
K <sub>2</sub> O	2.33	2.18	1.09	<0.01	<0.01	1.36	1.12	1.10	1.11	1.25	1.40
TiO <sub>2</sub>	0.41	0.55	0.79	<0.01	<0.01	0.31	0.49	0.50	0.44	0.45	0.50
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.20	0.21	0.13	0.20	0.01	0.11	0.07	0.08	0.09	0.08	0.07
MnO	0.05	0.04	0.11	0.50	0.25	0.5	0.08	0.06	0.08	0.07	0.09
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.01	0.0002	0.01	0.079	0.007	0.005	0.03	0.03	0.03	0.036	0.030
As	1.9	1.3	1.4	89.6	0.8	92	2.7	19	2.9	8.3	8.9
Ni	<20	<20	88.36	230	202	<20	101	102	100	131.6	143.4
Sc	5	3	28	24	<1	7	15	15	15	15	14
Zn	51	52	47	55	51	58	35	33	38	41	32
Ateş kaybı	0.12	1.21	4.88	44.2	41.3	0.14	20.59	19.51	21.05	21.4	22.2
<b>Toplam</b>	<b>99.64</b>	<b>99.92</b>	<b>99.90</b>	<b>99.46</b>	<b>99.37</b>	<b>99.88</b>	<b>99.55</b>	<b>99.07</b>	<b>100.57</b>	<b>99.89</b>	<b>99.42</b>

Tablo 2. DAF zonu fay kayalarının iz element analiz sonuçları

Örnekler	Ba	Be	Co	Cu	Mo	Cs	Ga	Hf	Nb	Rb	Sn	Sr	Ta	Th	Zr	Y	U	V
P-1	173	1	21.6	33.4	0.2	3.0	8.2	1.8	3.9	20.5	1	302.9	0.3	3.2	66.7	13.4	109	117
P-2	168	0.8	20.9	31.2	0.2	2.6	8.0	1.5	4.5	23.8	1	215.3	0.5	2.5	70.6	13.8	87	215
TK-1	171	1	22.8	27.4	0.3	3.0	8.6	1.7	4.1	21.2	2	202.8	0.4	3.0	66.7	13.4	109	117
TK-2	166	0.9	22.7	29.8	0.2	2.5	8.0	1.8	4.3	15.1	2	165.7	0.3	2.8	70.6	13.8	87	215
TK-3	160	0.9	22.2	28.2	0.1	2.8	8.1	1.7	4.4	14.3	2	163.3	0.3	2.7	70.6	13.8	87	215
TM-1	4	<1	21.5	46.7	0.3	0.1	0.5	4.5	5.3	40.1	<1	344.6	0.3	<0.2	0.6	1	18	102
TM-2	3	<1	1.5	49.3	0.3	0.4	<0.5	5.2	5.7	30.7	2	355.5	0.4	<0.2	0.3	0.2	0.5	110
TM-3	6	<1	90	46.9	0.0	0.1	<0.5	<0.1	5.2	29.2	<1	360.1	0.2	0.1	05	0.1	1.3	95
TE-1	144	<1	22.7	23.5	0.1	2.3	9.3	1.7	5.1	42.6	1	503.3	0.3	3.0	70.1	15.2	1.2	107
TE-2	124	<1	21.2	27.1	0.1	2.9	8.2	1.9	4.9	34.7	2	422.2	0.3	2.7	78.1	13.3	0.9	110
TE-3	199	<1	22.9	26.7	0.1	3.0	9.1	2.1	5.8	38.1	1	510.8	0.3	3.2	69.3	14.2	1.0	113

## 4. Sonuç

Alp orojenik sistemi içerisindeki Türkiye arazisinde Kuzey Anadolu fayı, Ege graben sistemi, Doğu Anadolu fayı gibi birçok aktif fay bulunur. DAF önemli bir makaslanma zonu olduğundan deformasyon, mikro-tektonik dokular, mineral alterasyonu, neomineralizasyon, hidrotermal işlevler gibi birçok jeolojik değişimi barındırır. Farklı köken ve mineraljik bileşimdeki kayaç yapılarının tektonizmaya gösterdiği direnç farklılığı farklı fay kayalarının gelişmesine sebep olur.

Fay zonu içerisinde, fay breşi, mikrobreş, kataklazit, milonit ve fay kili gibi kataklaz etkisini gözlemlemek mümkündür. Fay breşi fay zonu içerisindeki litolojik tüm birimlerden malzeme almıştır. Kayaç parçaları arasındaki bağlayıcı malzemenin kalsit, dolomit gibi karbonat mineralleri olduğu belirlenmiştir. Fay kili ise, montmorillonit, illit ve kaolinit olup diğer silikat bileşenleri feldspat, kuvars, kalsit ve mika mineralleridir. Çalışma alanında deformasyon ve makaslama etkilerinin yoğun izlendiği fay killlerinde illit ve montmorillonit mineralleri oluşmuştur. Fay kili içerisindeki feldspatlar anakayadaki alterasyonun kısmen koruduğunu minerallerden biri olup, çoğunlukla kalsit ve dolomit gibi karbonat mineralleri ve kile dönüşmüştür. Milonitleşme ve kataklaz etkilerinin alterasyon gelişiminde önemli bir unsur olduğu, pirit, klorit, hematit, malahit gibi yeni mineral oluşum süreçlerinin varlığından anlaşılan bir durumdur.

Montmorillonit, illit gibi hidrotermal mineraller ve kuvars minerali maksimum 300°C ye kadar bir sıcaklığın varlığını gösterir. Çatlak hatları boyunca veya kataklaz parçaların çevresinde gelişen karbonat-silis oluşumu, hidrotermal akışkanların varlığında progresif alterasyonu, permeabiliteyi ve redüksiyon koşullarında gelişmiş tektonik aktiviteyi gösterir. Permeabilitenin önemi ve incelenen fay zonu boyunca olan etkisi talk-manyezit mineral çiftinin varlığından teyit edilebilir. Petrografik gözlemler, fay hattı kırık sistemindeki gözlemler, karbonatlaşma, silisleşme, hematitleşme, piritleşmenin yaygın olması ve jeokimyasal analizlerin değerlendirilmesiyle, Doğu Anadolu makaslama zonu üzerinde yoğun bir deformasyon ve deformasyona bağlı olarak gelişmiş hidrotermal alterasyon mineralleri mevcuttur.

## 5. Teşekkür

Bu çalışma Fırat Üniversitesi Proje Koordinasyon Birimi (FÜBAP) tarafından MF 20.41. nolu proje kapsamında desteklenmiş olup, araştırmacılar olarak teşekkür ederiz.

## Kaynakça

- Akbaş, B., Akdeniz, N., Aksay, A., Altun, İ.E., Balcı, V., Bilginer, E., Bilgiç, T., Duru, M., Ercan, T., Gedik, İ., Günay, Y., Güven, İ.H., Hakyemez, H.Y., Konak, N., Papak, İ., Pehlivan, Ş., Sevin, M., Şenel, M., Tarhan, N., Turhan, N., Türkecan, A., Ulu, Ü., Uğuz, M.F., Yurtsever, A. ve diğerleri, (2011). 1:1.250.000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Yayını, Ankara-Türkiye.
- Allen, C. R., (1969). Active faulting in northern Turkey: Division of Geological Sciences. California Institute of Technology Contribution, (1577), 32.

- Altınlı, İ.E. (1963). Explanatory text of the Geological Map of Turkey of 1:500 000 scale; Erzurum sheet. Publ. Bulletin of Mineral Research and Exploration Inst., Ankara.
- Andreani, M., Luquot, L., Gouze, P., Godard, M., Hoise, E., Gibert, B., (2009). Experimental study of carbon sequestration reactions controlled by the percolation of CO<sub>2</sub>-rich brine through peridotites. Environmental Science & Technology, (43), 1226-1231.
- Arpat, E., Şaroğlu, F. (1975). Türkiye'de Bazı Önemli Genç Tektonik Olaylar. Türkiye Jeoloji Bülteni, (18 /1-2), 91-101.
- Ash, C. H. and Arksey, R. L., (1990). The listwanite-lode gold association in British Columbia. Geological Fieldwork 1989, B.C. Department of Energy and Mines, (1990-1),365- 364.
- Bonzanigo L, Eberhardt E, Loew, S. (2007). Long-term investigation of a deep-seated creeping landslide in crystalline rock. Part I. Geological and hydromechanical factors controlling the Campo Vallemaggia landslide. Can Geotech J. (44), 1157-1180.
- Brindley, G.W. and Brown, G. (1980). X-Ray Diffraction Procedures for Clay Mineral Identification. In: Brindley, G.W. and Brown, G., Eds., Crystal Structures of Clay Minerals and Their X-Ray Identification. Mineralogical Society, 305-356.
- Caritat, P. de, Main, P.T., Grunsky, E.C. & Mann, A. (2017). Recognition of geochemical footprints of mineral systems in the regolith at regional to continental scales. Australian Journal of Earth Sciences, (64-8,) 1033-1043.
- Çağlayan, A. (2010). Savcılı Fay Zonunun (Kırşehir) Yapısal Analizi. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, yayımlanmamış.
- Davis, H.G. and Reynolds, S.J. (1996). Structural Geology of Rocks and Regions. John Wiley & Sons, Inc. 776.
- Demirtaş, R., (2003). DAFZ'nda Deprem Üreten Diri Faylar; 1900-2003 Yılları Arasında Doğu Anadolu Fay Zonunda Olmuş Hasar Yapıcı Depremler. Deprem ve Kentleşme. 23-24-25 Eylül 2003, TMMOB Jeoloji Müh.Odası yayımları, (78), 3.
- Duman, T. Y., Emre, Ö. (2013). The East Anatolian Fault: geometry, segmentation and jog characteristics. Geological Society, London, Special Publications, 372.
- Hanski, E. (1986). The Gabbro-Wehrlite Association in the Eastern Part of the Baltic Shield. In: Friedrich, G. H., Genkin, A. D., Naldrett, A. J., Ridge, J. D., Sillitoe, R. H., and Vokes, F. M. (eds.) Geology and Metallogeny of Copper Deposits. Proceedings of the Copper Symposium 27th International Geological Congress Moscow, 1984. Special Publication No. 4 of the Society for Geology Applied to Mineral Deposits. Verlag, Berlin Heidelberg 151-17.
- Hetzl, R., Ring, U., Akal, C., & Troesch, M. (1995). Miocene NNE-directed extensional unroofing in the Menderes Massif, southwestern Turkey. Journal of the Geological Society, (152-4), 639-654.
- Higgins, M.W. (1971). Cataclastic rocks. In: Professional Paper. United States Geological Survey, (687), 97.
- Işık, V., Seyitoğlu, G. Cemen, I. (2003). Ductile-brittle transition along the Alasehir shear zone and its structural relationship with the Simav detachment, Menderes massif, western Turkey. Tectonophysics, (374), 1-18.
- İnceöz, M., Kılıç, A. D. (2014). Tektonizma, Alterasyon ve Ultramafik Sistemlerin Rolü. Fırat University Journal of Engineering. 26 (2), 149-157.

- Kılıç, A.D., Ateş, C., (2015). Geochronology of the Late Cretaceous magmatism and metamorphism, Pütürge massif. Turkey. *Acta Petrologica Sinica*, (31/5), 93-101.
- Kılıç, A.D., (2017). Microstructure and Mineralogic Evidences of Fractional Differentiation: The Yeşilova Ophiolite Example. *Journal of Earth Science and Engineering*, (7), 28-36.
- Kılıç, A.D., Arslan, G., (2018). Ca-Fe-Si granatlarda raman spektroskopisi uygulaması, mineralojik ve jeokimyasal özellikleri. *DÜMF Mühendislik Dergisi*, (9:1), 291-299.
- Kılıç, A.D. (2021). Fay Kili Mineralojisinde SEM ve XRD Veri Analizi, *ICOMNAS'21-Bildiri Özleri Kitabı*, 32-35.
- Köküm, M., İnceöz, M., (2018). Structural analysis of the northern part of the East Anatolian Fault System. *Journal of Structural Geology*, (114), 55-63.
- Köküm, M., (2019). Landsat TM Görüntüleri Üzerinden Doğu Anadolu Fay Sistemi'nin Palu (Elazığ)-Pütürge (Malatya) Arasındaki Bölümünün Çizgisellik Analizi. *Güfbed/Gustij*, (9/1), 119-127.
- Lebourg T, Hernandez M, Jomard H, El Bedoui S, Bois T, Zerathe S, Tric E, Vidal M. (2011). Temporal evolution of weathered cataclastic material in gravitational faults of the La Clapiere deep-seated landslide by mechanical approach. *Landslides*, (8), 241–252.
- Leydier, T., Goncalves, P., Lanari, P., Oliot, E. (2019). On the petrology of brittle precursors of shear zones – An expression of concomitant brittle deformation and fluid–rock interactions in the ‘ductile’ continental crust?. *Journal of Metamorfik Petroloji*, (37/8), 1129-1149.
- Lubiniecki, D. C., White, S. R., King, R. C., Holford, S. P., Bunch, M. A., Hill, S. M. (2019). Structural evolution of carbonate-hosted cataclastic bands adjacent to a major neotectonic fault, Sellicks Beach, South Australia. *Journal of Structural Geology*, (1269), 11-24.
- Miller, D. D. (1998). Distributed shear, rotation, and partitioned strain along the San Andreas fault, central California. *Geology*, (26), 867–870.
- Orioloa, S., Wemmerb, K., Oyhantçabal, P., Fossend, H., Schulze, B., Siegesmundb, S., (2018). Geochronology of shear zones – A review. *Earth-Science Reviews*, (185), 665-683.
- Prando, F., Menegon, L., Anderson, M.W., Marchesini, B., Mattila, J., Viola, G. (2019). Fluid-mediated, brittle-ductile deformation at seismogenic depth: Part II – Stress history and fluid pressure variations in a shear zone in a nuclear waste repository (Olkiluoto Island, Finland).
- Reeder, R. J., (1983). Crystal chemistry of the rhombohedral carbonates. *Mineralogical Society of America Reviews in Mineralogy*, (11), 1-47.
- Sarıkaya, M. A. (2004). Gediz ayrılma zonu: Fay kayacı stratigrafisi ve tektonik önemi. *Yerbilimleri Dergisi*, (25/30), 63-79.
- Satsukawa, T.; Lin, A. 2016. Structural analysis of cataclastic rock of active fault damage zones: An example from Nojima and Arima-Takatsuki fault zones (SW Japan), *American Geophysical Union, Fall Meeting 2016*.
- Seymen, İ. ve Aydın, A., (1972) Bingöl deprem fayı ve bunun Kuzey Anadolu fayı ile ilişkisi. *MTA Bülteni*, (79), 1-8.
- Sibson, R. H. (1977). Fault rocks and fault mechanisms. *Journal of the Geological Society*, (133/3), 191-213.
- Spry, A. (1969). *Metamorphic Textures*. Pergamon, London.
- Strauhal, T., Zangerl, C., Fellin, W., Holzmann, M., Engl, D. A., Brandner, R., Tropper, P., Tessadri, R., (2017). Structure, Mineralogy and Geomechanical Properties of Shear Zones of Deep-Seated Rockslides in Metamorphic Rocks (Tyrol, Austria). *Rock Mechanics and Rock Engineering*, (50), 419–438.
- Wang, Y., Zhou, L., Zwingmann, H., Lo, C. H., Li, G., Hao, J., (2020).  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  dating of cataclastic K-feldspar: A new approach for establishing the chronology of brittle deformation. *Journal of Structural Geology*, (131), 103-948.
- Warr LN, Cox S (2001). Clay mineral transformation and weakening mechanisms along the Trans Alpine Fault, New Zealand, *Geological Society London. Spec Publ.*, (186), 85–101.
- Wilson, M. (1989). *Igneous Petrogeoesis*. Oxford University Press., 466 pp.
- Wise, D.U., Dunn, D.E., Engelder, J.T., Geiser, P.A., Hatcher, R.D., Kish, S.A., Odom, A.L. and Schamel, S. (1984). Fault-related rocks: Suggestion for terminology. *Geology*, (12), 391-394.



# Tarihi Endüstri Yapıların Korunmasında Doğal Taşın Değiştirilmesi İçin Bir Değerlendirme Modeli: Kayseri Sümerbank Bez Fabrikası-Türkiye Örneği

Mehmet Cemal Acar<sup>1,\*</sup>

<sup>1,\*</sup> Kayseri Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO, İnşaat Bölümü, Kayseri, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-3241-5353), [acarc@kayseri.edu.tr](mailto:acarc@kayseri.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 11 Temmuz 2021 ve Kabul Tarihi 15 Ekim 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.969801)

**ATIF/REFERENCE:** Acar, M.C., (2021). Tarihi Endüstri Yapıların Korunmasında Doğal Taşın Değiştirilmesi İçin Bir Değerlendirme Modeli: Kayseri Sümerbank Bez Fabrikası-Türkiye Örneği. European Journal of Science and Technology, (27), 950-960.

## Öz

Restorasyon açısından tarihi taşların korunması önemlidir ancak yeni taşların kullanılmasını gerektirdiği durumlar da vardır. Tarihi yapıların duvarlarındaki taşların zarar görme derecesinin oldukça fazla olması veya özgün taşın tamamen yitirilmesi gibi durumlarda bunların modernizasyonları, tadilatları ve yeniden inşalarına gerek duyulmaktadır. Bu restorasyon çalışmalarında, dayanım özelliği ve görünüm açısından anıtlar uyumlu uygun taş kaynakları bulmak zorlu bir görevdir. Bu çalışma, tarihi yapıların duvarlarının onarımı için orijinal taşın değiştirilmesi olasılığını analiz etme ve değerlendirme yöntemini kapsar. Bu amaçla, erken cumhuriyet dönemine ait Türkiye'deki ilk endüstri yapılarından olan Kayseri Tarihi Sümerbank Bez Fabrikası'nda bir örnek uygulama çalışması yapılmıştır. Bu makalede, Kayseri Tarihi Sümerbank Bez Fabrikası'nın Abdullah Gül Üniversitesi Sümer Kampüsü'ne dönüştürülmesi için hazırlanan restorasyon projesi kapsamında, fabrika duvarlarındaki tahrip olmuş taşların ve yerine kullanılacak yeni taşlar için dayanım, estetik ve uyumluluk değerlendirme ölçütünü sağlayan bir model oluşturulması amaçlanmıştır. Bu model, pahalı ve zaman alıcı analizlerin yapılmasını önleyecek, en az müdahale ile tarihi dokunun korunmasını sağlayacak ve gelecekteki malzeme kayıtlarına sahip olmayan restorasyon çalışmaları için de örnek olabilecektir. Bu çalışma, taşların seçiminde sadece estetik bir değerlendirme değil aynı zamanda onun, fiziksel ve mekanik özelliklerine göre taş seçimi yapılmasının önemini ortaya koyan bir model sunmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Restorasyon, Taş, Sümerbank, Tarihi, Endüstri yapıları.

## An Evaluation Model for Replacing Natural Stone in The Conservation of Historical Industrial Buildings: A case study of Kayseri Sümerbank Bez Fabrikası-Turkey Abstract

Conservation of historical stones is important for restoration, but there are cases where new stones are required to be used. In cases where the degree of damage to the stones on the walls of historical buildings is quite high or the original stone is completely lost, their modernization, modification and reconstruction are required. In the restoration work, it is a challenging task to find suitable stone resources that are compatible with the monument in terms of strength and appearance. This study covers the method of analyzing and evaluating the possibility of replacing the original stone for the repair of the walls of historical buildings. For this purpose, a case study was carried out in Kayseri Historical Sümerbank Cloth Factory, which is one of the first industrial structures in Turkey belonging to the early republican period. In this article, it is aimed to create a model that provides the strength, aesthetic and compatibility evaluation criteria for the destroyed stones on the factory walls and the new stones that can be used instead within the scope of the restoration project prepared to transform Kayseri Historical Sümerbank Cloth Factory into Abdullah Gül University Sümer Campus, This model will avoid expensive and time-consuming analyzes, preserve the historical texture with minimal intervention, and may set an example for future restoration works that do not have material records. This study presents not only an aesthetic evaluation in the selection of stones, but also a model that reveals the importance of choosing stones according to their physical and mechanical properties.

**Keywords:** Restoration, Stone, Sümerbank, Historical, Industrial buildings.

\* Sorumlu Yazar: [acarc@kayseri.edu.tr](mailto:acarc@kayseri.edu.tr)



## 1. Giriş (Introduction)

Çok eski tarihlerden günümüze kadar doğal taşlar yapılarda kullanılmaktadır. Kentin sosyal, kültürel, ekonomik oluşumuna etki etmiş tarihi yapıların duvarlarında kullanılan doğal yapı taşlarını korumak tarihi miras açısından büyük önem taşımaktadır. Tarihi yapıların duvarlarındaki taşlarının parçalanması, çukurlaşması gibi zarar görme derecesinin oldukça fazla olması veya özgün malzemenin yitirilmesi durumunda taş değişimleri söz konusu olmaktadır. Geçmişten günümüze kadar pek çok araştırmacı bunun nedenleri ve çözüm yollarını üzerinde çalışmaktadır (Oakeshott, 1975; Prikryl, 2007; Török ve Prikryl, 2010; Sousa, 2014; Aldoasri vd., 2017; Martínez-Martínez vd., 2018; Gibeaux vd., 2018; Saba vd., 2019; Grazzini vd., 2020; Del vd., 2020; Salvatici vd., 2020; Çelik vd., 2021; Klimek vd., 2021; Aboubacar vd., 2021). Roma ve Doğu Roma İmparatorluğu (Bizans) dönemi yapılarında bazalt, mermer, kireçtaşı, traverten, volkanik tüfler; Anadolu Selçuklu Devleti yapılarında mermer, volkanik tüfler ve yumuşak kalkerler, andezit, bazalt; Osmanlı İmparatorluğu dönemi yapılarında ise traverten, mermer, kireçtaşı, serpantin ve granit taşı, Cumhuriyet döneminin ilk yıllarında yapılan kamu binalarında ise özellikle tuf taşları kullanılmıştır. Tarihi yapılarda kolay ulaşılabilir ve taşınabilir olmaları gibi ekonomik nedenlerle yerel tuf taşlar daha çok tercih edilmiştir. İstanbul'daki tarihi yapılarda kireçtaşı (yerel ismi küfeki taşı) ve Marmara mermeri yaygın olarak kullanılmıştır. Bakırköy, Sefaköy, Yeşilköy, Yenibosna ve Şirinevler'deki taş yataklarından çıkarılan, gözenekli ve kolay şekillendirilebilen kireçtaşı özellikle Bizans ve Osmanlı İmparatorluğu dönemlerinde İstanbul'daki tarihi yapıların birçoğunda ana yapı malzemesi olarak tercih edilmiştir. Örneğin Ayasofya'nın (532-537) dış duvar örgüsünde, Fatih Camii'nin (1463-1470) dış duvarlarında ve minaresinde, Süleymaniye Camii'nin (1550-1557) fil ayakları, dış duvar örgüsü ve harim bölümünün döşemelerinde kireçtaşı (küfeki taşı) kullanılmıştır (Serkan, 2010). Ankara'daki tarihi yapılarda kullanılan doğal taş ise Ankara taşı olarak da adlandırılan andezit tufüdür. Pembe renkli, gözenekli ve cila tutmayan bir taş olan Ankara taşı birçok tarihi yapıda kullanılmıştır. Tüm doğal taşlarda, taşın yapısal özelliklerinin yanı sıra, insan ve doğa koşullarının olumsuz etkilerine maruz kalmaları sebebiyle, zaman içerisinde ayrışmaya maruz kalır. Bu olay, taşların yüzeysel bozulma ve ayrışmasına, daha sonrasında ise parçalanarak yitirilmesine yol açar (Oakeshott, 1975; Sousa, 2014; Aldoasri vd., 2017; Saba vd., 2019; Klimek vd., 2021). Buna en güzel örnek Oxford üniversitesi tarihi binaları gösterilebilir. Bu yapıların taş bloklarının hava kirliliğinden dolayı çürümesi sonucu özgün malzeme değiştirilmiştir. Yerine koyulan taşın uyumsuz seçilmesi ve işçilik hataları sonucu üniversite binaları yeteri derecede korunamamış ve Oxford üniversitesinin kurumsal imajına zarar vermiştir (Oakeshott, 1975). Tarihi yapıların yenileme çalışmalarında, öncelikle orijinal yapı malzemesi korunmaya çalışılır ancak duvarda aşırı bozulan ve ayrışan taş varsa, bu taş aynı ocağın ve aynı özellikteki taş ile değiştirilmesi uygun olur. Böylece, duvarın dayanımı ve işlevselliği mümkün olduğunca korunmuş olur. Kullanılan orijinal taşın özellikleri hakkında çoğunlukla bilgi veya belgeye rastlanmaz. Bu nedenle, restorasyon yapılmadan önce binanın özgünlük ve karakterinin belirlenmesine ihtiyaç vardır. Orijinal ve muadil taşın kökeni, bugünkü durumu, mekanik ve fiziksel özellikleri çok iyi bilinmesi gerekir. Kullanılacak taş, mümkün olduğunca, fiziksel ve yapısal özellikleri ile orijinal taş benzemelidir. Török ve Prikryl (2010), yaptıkları çalışmada taşların hasar görme mekanizmalarını incelemişler ve taş

değişiminde yerel taş kaynaklarının kullanılmasının çok önemli olduğunu ortaya koymuşlardır. Grazzini vd (2020), Ghiffa'daki (Piedmont-İtalya) Sacro Monte anıtsal kompleksinin taş sütunlarının özelliklerini araştırmışlar tarihi taşlarda meydana gelen bozulma olaylarını tahribatsız teknikler kullanmışlardır. Kayseri Sümerbank Bez Fabrikası, cumhuriyet döneminin gelişmişliğini yansıtan, devlet tarafından kurulan ilk endüstri yapısıdır. Cumhuriyetin kuruluşunun ilk yıllarına ait sosyal yaşamı, teknolojiyi, üretim biçimini ve mimari özellikleri yansıtmaktadır. 2003 yılı sonunda fabrika, tarihi endüstriyel "anıt" olarak tescillenerek koruma altına alınmıştır (Şekil-1) (Kayseri-Kor. Böl. Müdr. Raporu, 2013). Kayseri Tarihi Sümerbank Bez Fabrikası gibi kültürel endüstriyel miras olan bu yapılardaki doğal taşların restorasyonunda, yapıyla uyumlu alternatif taşın nasıl seçileceği önemli bir problemdir. Literatürde bu problemin önemini anlatan çalışmalar vardır (Oakeshott, 1975; Prikryl, 2007; Sousa, 2014; Çelik vd., 2021; Klimek vd., 2021; Aboubacar vd., 2021). Bu sorunun çözümü için alternatif taşın seçimini etkileyen mekanizmanın iyi analiz edilmesine ve objektif ölçütlere dayanan yeni bir yaklaşıma ihtiyaç vardır.

Türkiye Cumhuriyeti Devleti'nin ilk sanayi yatırımı olan Kayseri Tarihi Sümerbank Bez Fabrikası'nın 1934 yılında temeli atılmış, 1935 yılında da fabrika üretime başlamıştır (Şekil 1.).



Türkiye'nin ekonomik kalkınmasını ve sanayileşme hamlesini temsil eden bu fabrika aynı zamanda kuruluşundan 1994 yılına kadar, 60 yıl boyunca, kentin sosyal, kültürel, ekonomik oluşumuna etki etmiştir. Rus-Türk ortak yapımı olan fabrika binaları, şehirde yaşanan ortak kent kültürünün önemli bir simgesidir. Bu sebeple fabrikaya ait yapılar korunmalı, varlığı sürdürülmelidir (Kevseroğlu, 2011; Özcan ve Güngör, 2019; Onur, 2021; Tanrıverdi ve Çelik, 2021).

Bu çalışmada, Kayseri Tarihi Sümerbank Bez Fabrikası'nın Abdullah Gül Üniversitesi Sümer Kampüsü'ne dönüştürülmesi için hazırlanmış restorasyon projesi kapsamında, fabrika binalarının duvarlarındaki tahrip olmuş taşların belirlenen deneysel yöntemlerle incelenmesi ve yerine kullanılabilir taş için uyumluluk değerlendirme ölçütü geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu ölçüt ile oluşturulan model, yerine kullanılabilir taş, çok daha doğru tahmin ederek farklı nitelikteki uyumsuz taşların kullanılma riskini azaltacaktır. Kayseri Tarihi Sümerbank Bez Fabrikası'nda örnek bir uygulaması yapılan bu model, dünyanın diğer bölgelerindeki tarihi yapılar için de uygulanabileceği planlanmaktadır. Ayrıca TÜBİTAK, UNESCO, Avrupa Konseyi, ICOMOS ve ICCROM ile iş birliği yapılarak, tarihi endüstri yapıların dışında diğer eski eserler için de araştırma desteği sağlanarak yeni çalışmalar yapılabilir.

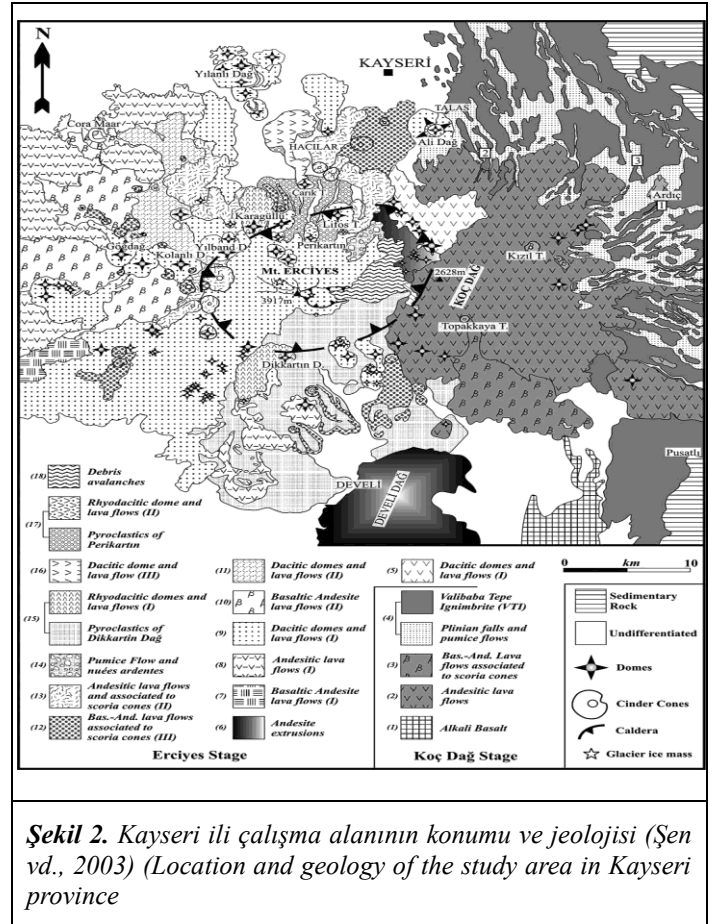
Kayseri Tarihi Sümerbank Bez Fabrikası'nın Abdullah Gül Üniversitesi Sümer Kampüsü'ne dönüştürülmesi için bir restorasyon projesi mimar Emre AROLAT tarafından hazırlanmıştır. MEFA şirketler grubu bu onarım ve yenileme projesinin yapımı için Abdullah Gül Üniversitesi ile sözleşme imzalamıştır. Bu restorasyon çalışmalarının başarısı, mevcut taşların özelliklerine en uygun taşın belirlenmesine bağlıdır. Bu sebeple Kayseri Tarihi Sümerbank Bez Fabrikası'nın Abdullah Gül Üniversitesi Sümer Kampüsü'ne dönüştürülmesi için hazırlanmış restorasyon projesi kapsamında, fabrika binalarının duvarlarındaki parçalanmış, kırılmış ve zarar görmüş taşların, fiziksel, mekanik ve kimyasal özelliklerinin, çeşitli tahribatlı ve tahribatsız deney yöntemleriyle incelenmiştir. Orijinal taşı tanımlamaya yarayan tüm deneylere yüzde puanlar verilerek yerine kullanılabilir uyumlu taşın seçiminde bir ölçüt geliştirmiştir. Böylece, yerine kullanılabilir taş, çok daha doğru tahmin edilmesini sağlayan bir model oluşturulmuştur.

## 2. Jeolojik Ortam ve Kayserideki Tarihi Eserlerde Kullanılan Taşlar (Geological Environment and Stones Used in Historical Artifacts in Kayseri)

Roma, Bizans, Anadolu Selçuklu, Osmanlı Devri ve erken Cumhuriyet dönemi mimarisinde doğal taşlar, yaygın biçimde yapılar da kullanılmıştır. Anıtsal taş yapılar şehri olan Kayseri'de de erken cumhuriyet dönemlerine kadar eserler hep taş malzemeyle oluşturulmuştur. Betonarme taşıyıcı sistemler 1930'lardan sonra Kayseri'de yapılmaya başlamıştır. Kayseri Sümer Bez Fabrikası Yerleşkesi'ndeki tüm binalar, taşıyıcı sistemi betonarme, cephe duvarları doğal taş (yonu taşı veya tüf taşı) olarak yapmış olan Kayseri'deki ilk betonarme yapılarıdır. Yerleşke, çok fonksiyonlu olarak çalışanlarının sosyal, kültürel, eğitimsel ve ikamete yönelik gereksinimlerini karşılayan yönetim binası, üretim binası, sosyal binaları, spor sahası, demir dökümhanesi, elektrik santrali ve hastaneden oluşan mikro ölçekli bir kent modelidir (Kevseroğlu, 2011). Bulunduğu yer aynı isimle adlandırılan Sümer mahallesinde 345.920 m<sup>2</sup> alan üzerine inşa edilmiştir. Yıkılan, yağmalanan ve uzun süre hava koşullarına maruz kalarak bozulan duvarlar, mimari elemanların özgünlüğüne zarar vermeden onarılması önemli bir konudur. Kayseri'de erken cumhuriyet dönemine kadar tarihi eserlerde tüf taşı (ignimbirit) ve bazalt taşları kullanılmış ancak bu taşların tam olarak hangi bölgedeki ocaktan geldiği belli değildir. Kayseri ilinin jeolojik yapısı, Erciyes Dağı çevresinde, farklı tüflü kaya birimlerini içermektedir (Şen vd., 2003) (Şekil 2).

e-ISSN: 2148-2683

Kayseri'de çok sayıda tüf taşı çıkaran taş ocakları vardır. Bu taş ocakları Erciyes dağının etrafında geniş sahalara yayılmıştır. Kayseri'de genelde tüf taşı (ignimbirit) yöresel olarak yonutaşı veya Kayseri taşı veya kesme taş olarak da isimlendirilen yapı taşı çıkarılmaktadır (Şekil 2). Kayseri havzasında bulunan bu formasyona mutlak tüf denilemez, ancak tüfe benzediği için tortul tüflü volkanik kaya olarak adlandırılmıştır. "Tüf" ve "tüflü" terimleri şu şekilde tanımlanır: "tüf", volkanik kül ve tozun sıkıştırılmış piroklastik birikintisiyle oluşmuş gözenekli kayalardır ve tüflü kaya ise, %50'den fazla tüf içeren kumlu veya killi kayalardır (Acar ve Kaya, 2020).



Şekil 2. Kayseri ili çalışma alanının konumu ve jeolojisi (Şen vd., 2003) (Location and geology of the study area in Kayseri province)

Bu tüflü kayalar genel olarak nispeten zayıf dayanıma sahip olmakla birlikte, kaynaklanma derecesine bağlı olarak çok farklı dayanım özellikleri gösterirler (3-50 MPa). Kayseri'deki tarihi yapılar da genellikle, temel seviyesinde işlenmesi oldukça güç ve basınç dayanımı 300-500 MPa arasında (Mohs sertlik derecesi 7-9) olan bazalt taşı (kara taş) gibi doğal taşlar kullanılmıştır. Bu tarihi yapıların üst kısımları ise işlenmesi kolay ve düzgün yüzeyli kesilebilen basınç dayanımı 3-50 MPa arasında olan (Mohs sertlik derecesi 1-2) yöresel tüf taşı (yonu taşı/Kayseri taşı) gibi doğal taşlarla tamamlanmıştır. Kayseri ili renkli tabakalı tüfler, lapilli tüfler ve katmanlı kaynaklı, orta kaynaklı ve kaynaklı ignimbiritler içeren ince ve orta taneli tortul kayalar yer almaktadır. Bu kayalar bazen yumuşak ve zemin benzeri sünek mekanik davranış sergilerken, bazı bölgelerde özellikle İncesu ilçesinde pembe renkli olan tüfler gibi nispeten sert, camı ve kırılabilir kaya davranışı gösterebilirler. Bu kayalar büyük litofizal boşluk, mikro boşluklar ve gözenekler gibi süreksizlikler nedeniyle anizotropik elastik deformasyon özellikleri sergilerler. Litofizler, tüflü birimleri oluşturan katmanlı volkanik kül içinde hapsolmuş gaz ceplerinin patlamasıyla oluşur. Kayseri'deki ocaklardan alınan tüflü taşların kimyasal analizleri yapılmış,

çeşitli oksitlerin % oranları şeklinde ifade edilmiştir. Bunlar SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, FeO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, CaO, MnO, MgO, TiO<sub>2</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, H<sub>2</sub>O ve CO<sub>2</sub> olarak adlandırılan tüflü kayacın ana elementleridir. Taş ocaklarından alınan numuneler için kimyasal analiz sonucunda bu ana elementlerden (derinlik yaklaşık 1 ila 5 m) SiO<sub>2</sub> oranı %60-77, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oranı %14,88 ila %15,87, MgO oranı %0,38-0,89 aralığındadır. Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> aralığı %3,63-4,16, TiO<sub>2</sub> aralığı 0,65-0,73, CaO aralığı %1,65-3,57, Na<sub>2</sub>O aralığı 4,77-5,88, K<sub>2</sub>O %2,47-3,07, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> aralığı 0,15-0,26, MnO 0,07-0,11% dir. Ortalama kimyasal bileşim SiO<sub>2</sub> (%67,73), TiO<sub>2</sub> (%0,5), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (%15,44), Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (%0,69), FeO (%2,4), MnO (%0,09), MgO (%0,63), CaO (%2,35), Na<sub>2</sub>O (%4,85), K<sub>2</sub>O (%2,85), P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (%0,18), diğer (%1,15) olarak elde edilmiştir. Bu piroklastik tüflü kayaların kimyasal içerikleri birbirine yakın olmakla birlikte, kaynaklanma dereceleri farklı olduğundan birim ağırlıkları, mukavemetleri ve renkleri (kahverengi, gri, gri pembe vb.) farklıdır (Acar ve Kaya, 2020).

### 3. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

Geçmişten günümüze kadar pek çok araştırmacı yerine kullanılacak taşın orijinal taşa uygunluğunu araştırmak amacıyla çözüm yolları üzerinde çalışmaktadır. Bu çalışmalarda, yeni taşın fiziksel ve estetik açıdan uygun olması ve ideal olarak mevcut yapı taşı ile aynı tipte veya mümkün olan en yakın muadili olması gerektiğini belirtmişlerdir (Oakeshott, 1975; Příkryl, 2007; Török ve Příkryl, 2010; Grazzini vd., 2020; Del vd., 2020; Salvatici vd., 2020; Çelik vd., 2021; Klimek vd., 2021). Kayseri Tarihi Sümerbank Bez Fabrikası'nda yerine taşların belirlenmesi için bir örnek uygulama çalışması yapılmıştır. Yapıda kullanılan mevcut taşlar ve yerine kullanılacak taşları tanımlamaya yarayan, tahribatsız ve tahribatlı tüm deneyler türüne göre gruplara ayrılmıştır. Elde edilen deney sonuçlarına göre, yerine

kullanılacak taşların, mevcut taşa benzerliği için bir ölçüt geliştirilmiştir. Böylece yerine kullanılacak taşı, objektif kriterlere göre çok daha doğru tahmin etmemize olanak veren ve farklı nitelikteki uyumsuz taşların kullanılma riskini azaltan bir model oluşturulmuştur. Mevcut taşın yerine kullanılacak uyumlu veya daha iyi özelliklere sahip yeni taşı tespit etmede pratik ve ekonomik yönleri olan bu model, bilim ve teknolojiye katkısı yönünden önemlidir. Kayseri Sümerbank Bez Fabrikası'nın duvarlarında zarar görmüş taşların yerine kullanılacak alternatif taşların seçilmesi için geliştirilen bu yöntem, diğer benzer tarihi eserler için bir model olacak ve örnek teşkil edecektir.

Bu araştırmada beş ana iş aşaması ve her aşamanın da alt aşamaları olacak şekilde planlanmıştır. Yapılan modelin aşamaları Tablo 1'de şematik olarak gösterilmiştir. Tarihi duvarların restorasyonunda, yerine kullanılan taşların uyumluluk değerlendirirken ilk aşama ön araştırma ve saha gözlemidir. Bu aşamada, sahada inceleme yapılır ve olası problemler yerinde incelenir. Arazide, öncelikle parçalanmış duvar taşlarının olup olmadığı araştırılır varsa bunlar üzerinde laboratuvar deneyleri yapmak için taş örnekler alınır. Arazide tahribatsız veya zorunlu olması durumunda tahribatlı deneysel çalışma yapılacak yerler belirlenir. Bunların arasında duvar çatlakları, hasar görmüş duvar taşlarının konumları ve hasar miktarları, yapı temelinde oturma olup olmadığı, taşlarda fiziksel ve kimyasal aşınma durumları, yapıda daha önce restorasyon yapıp yapılmadığı ve kullanılmış taşların türleri belirlenir. Üçüncü aşama yeni taşın mevcut taşlara göre renk açısından öncelik belirleme aşamasıdır. Taş seçiminde öncelik, jeolojik kökeni, renk, doku ve desen olarak mevcut yapıya uyumlu olan alternatif taş/taşların tespit edilmesidir. Bu amaçla, kimyasal analiz yapılarak jeolojik kökeni ve renk ölçümü yapılarak mevcut ve yeni taşın renk uyumu görsel ve sayısal (dijital kamera) ölçüm yapılarak araştırılır (Schalkoff, 1989; Winkler 1997).

**Tablo 1** Tarihi duvarda mevcut taşın yerine yeni taşın kullanımı için önerilen modelin aşamaları (Suggested modeling steps for the use of new stone instead of existing stone on the historic wall)

1. Aşama:	2. Aşama	3. Aşama	4. Aşama	5. Aşama
Ön araştır ma, Saha gözlemi	Tarihi Yapı ile ilgili Bilgi Toplama	Taş seçiminde Öncelik Belirleme	Deneysel Analiz ve Model	Mevcut ve yeni taşların seçimi
Mevcut taşların ve sahada deneysel çalışma alanının ön araştırılması, Yerel taş kaynaklarının yerinde araştırılması	-Duvar çatlakları -Daha önce restorasyon olmadığı -Hasarın konum ve miktarı -Temelde oturma v.s bilgilerin toplanması	Taşların jeolojik köken, renk, doku ve desen olarak uyumu için kimyasal analiz ve renk ölçümü yapılması.	Taşların, fiziksel ve mekanik özelliklerini gösteren parametrelerin ve bunlar arasındaki doğrusal ilişkilerin bulunması, Mevcut taşın yerine yeni taşın seçimini etkileyen kriterlerin belirlenmesi ve bir yüzde puanlama modeli oluşturulması	Oluşan model ile mevcut ve yeni taşların puanlanması ve karşılaştırılması, yeni taşın, hangi mevcut taşların yerine kullanılacağıının bulunması.

Tarihi eserde var olan mevcut taşların, yapıda kullanılacak yeni taşla renk, doku ve desen olarak uyumlu olabilenler belirlenir. Dördüncü aşama modelleme ve analiz aşamasıdır. Taşların, Avrupa standartlarına uygun muayene ve deneyler ile analizleri yapılır, fiziksel ve mukavemet özellikleri belirlenir. Dördüncü aşama, deneylerden elde edilen aşınma kaybı (mm), Birim Hacim Ağırlık (kuru) BHA (kN/m<sup>3</sup>), SH (Schmidt Sertliği), Özgü Ağırlık G<sub>s</sub> (Birimsiz), Su emme (%), Porozite n (%), Ultra ses hızı V<sub>p</sub> (km/s), Nokta yükleme dayanım endeksi I<sub>s</sub> (MPa),

Brazilian dolaylı çekme dayanımı, BRT (MPa) parametrelerinin bulunmasıdır. Daha sonra, alternatif taş seçme kriteri belirlenerek bir model oluşturulur. Beşinci ve son aşama ise seçim yapma aşamasıdır. Yeni taşın orijinal taşlara göre ne kadar daha iyi özelliklere sahip olduğu (benzerlik fazlası) veya daha kötü özelliklere sahip olduğu (benzerlik eksikliği), önem derecesine göre puanlanır. Tarihi duvarın bazı mevcut taşlarının değişimi için, yeni taşın uygun olup olmadığı toplamdaki puan ile belirlenir.

### 3.1 Modeldeki Kullanılan Parametreler ve Toplam Puanın Hesabı (Parameters Used in the Model and Calculation of the Total Score)

Toplam puan, tarihi yapıdaki taşların kullanılacak yeni taşın göre uyumluluğunu gösteren yüzde benzerlik fazlası veya eksisi (mevcut taşın parametrelerinin yeni taşın göre yüzde bağıl hatası gibi düşünülebilir) hesaplanır (Tablo 2). Burada yeni taşın referans noktası olarak alınır. Tablo 2’de tanımlanan formüle göre, yeni taşın, kendisine karşı bir benzerlik fazlası veya eksisi olmadığı için puanı (bağıl hata) sıfırdır ancak yeni taşın referans alınarak

diğer mevcut taşların bu yeni taşın göre benzerlik fazlası veya eksisi olmaktadır. Sonuç olarak, yeni taşın toplam puanı sıfır olduğu için, negatif toplam puana sahip tüm mevcut taşların yerine yeni taşın kullanılabilir ancak sıfırdan büyük toplam puana sahip mevcut taşlarda ise yeni taşın kullanılamaz (Tablo 2) Taşların değerlendirme kriterleri için ana fiziksel özelliklerin, Su emme (%), Özgül ağırlık G<sub>s</sub>, Birim hacim ağırlık (kuru) BHA (kN/m<sup>3</sup>), Porozite n (%), Ultrases boyuna dalga hızı V<sub>p</sub> (km/s) ve mekanik dayanımı için Schmidt sertliği SH, Aşınma kaybı (mm), Nokta yükleme I<sub>s</sub> (MPa), Brazilian dolaylı çekme BRT (MPa), Tek eksenli basınç UCS (MPa) dayanım deneyleridir.

TOPLAM PUAN (TOTAL SCORE)		
$= \overbrace{\%7 \cdot X_1 + \%7 \cdot X_2 + \%7 \cdot X_3 + \%7 \cdot X_4 + \%7 \cdot X_5}^{\text{Fiziksel Özellikleri \%35}} + \overbrace{\%15 \cdot X_6 + \%15 \cdot X_7 + \%15 \cdot X_8}^{\text{Basınç Dayanımları \%45}} + \overbrace{\%10 \cdot X_9}^{\text{Çekme Dayanımı \%10}}$ $+ \overbrace{\%10 \cdot X_{10}}^{\text{Aşınma Kaybı \%10}}$		(1)
Modeldeki Değişkenler (Variables in the model): X <sub>1</sub> , X <sub>2</sub> , X <sub>3</sub> , X <sub>4</sub> , X <sub>5</sub> , X <sub>6</sub> , X <sub>7</sub> , X <sub>8</sub> , X <sub>9</sub> , X <sub>10</sub> aşağıda açıklanmıştır		
<b>Fiziksel Özellikleri (Physical Characteristics)</b>		
X <sub>1</sub> = Taşların Birim Hacim Ağırlık (BHA) uyumluluk yüzdesi (%7), (X <sub>1</sub> = [Mevcut taşın BHA değeri- Yeni taşın BHA değeri / Yeni taşın BHA değeri] *100.) .....		(2)
X <sub>2</sub> = Taşların Özgül Ağırlık (G <sub>s</sub> ) uyumluluk yüzdesi (%7), (X <sub>2</sub> = [(Mevcut taşın G <sub>s</sub> değeri- Yeni taşın G <sub>s</sub> değeri) / Yeni taşın G <sub>s</sub> değeri] *100.).....		(3)
X <sub>3</sub> = Taşların Porozite (Gözeneklilik) uyumluluk yüzdesi (%7), (X <sub>3</sub> = - [(Mevcut taşın Porozite değeri- Yeni taşın Porozite değeri)/ Yeni taşın Porozite değeri]*100) .....		(4)
X <sub>4</sub> = Taşların Su emme uyumluluk yüzdesi (%7), (X <sub>4</sub> = - [(Mevcut taşın su emme değeri- Yeni taşın su emme değeri) / Yeni taşın su emme değeri]*100) .....		(5)
X <sub>5</sub> = Taşların Ultrases geçiş hızı (V <sub>p</sub> )’nin uyumluluk yüzdesi (%7), (X <sub>5</sub> = [(Mevcut taşın V <sub>p</sub> değeri – Yeni taşın V <sub>p</sub> değeri) /Yeni taşın V <sub>p</sub> değeri] *100.) .....		(6)
<b>Basınç Dayanımları (Compressive Strengths)</b>		
X <sub>6</sub> = Taşların Schmidt Çekici yöntemi ile yüzey sertliğinin (SH) uyumluluk yüzdesi (%15), (X <sub>6</sub> = [(Mevcut taşın SH değeri- Yeni taşın SH değeri) / Yeni taşın SH değeri] *100.) .....		(7)
X <sub>7</sub> = Taşların Nokta Yükleme Dayanım (I <sub>s</sub> ) uyumluluk yüzdesi (%15), (X <sub>7</sub> = [(Mevcut taşın I <sub>s</sub> değeri -Yeni taşın I <sub>s</sub> değeri) / Yeni taşın I <sub>s</sub> değeri] *100.) .....		(8)
X <sub>8</sub> = Taşların Tek Eksenli Basınç Dayanımı (UCS) uyumluluk yüzdesi (%15), (X <sub>8</sub> = [(Mevcut taşın UCS değeri- Yeni taşın UCS değeri) / Yeni taşın UCS değeri] *100.) .....		(9)
<b>Çekme Dayanımı (Tensile Strength)</b>		
X <sub>9</sub> = Taşların Brazilian Dolaylı Çekme Dayanımı (BRT) uyumluluk yüzdesi (%10), (X <sub>9</sub> = [(Mevcut taşın BRT değeri-Yeni taşın BRT değeri) / Yeni taşın BRT değeri] *100.) .....		(10)
<b>Aşınma Kaybı (Abrasion Loss)</b>		
X <sub>10</sub> = Taşların Aşınma Dayanımı uyumluluk yüzdesi (%10), (X <sub>10</sub> = - [(Mevcut taşın aşınma kaybı-Yeni taşın aşınma kaybı)/ Yeni taşın aşınma kaybı] *100.) .....		(11)

Bu deney sonuçlarını en çok etkileyen taş özelliğinin kayanın gözenekli sistemine bağlı olduğu pek çok araştırmacı tarafından gösterilmiştir (Adriani ve Walsh, 2003; Sousa, 2014;

Martínez-Martíne ve Waz vd., 2018; Gibeaux vd., 2018; Del vd., 2020; Çelik vd., 2021; Klimek vd., 2021). Taşların basınç dayanımı ise, restorasyon çalışmalarında olduğu kadar yeni

inşaatlarda da yapı malzemelerinin kalitesini belirleyen en önemli unsurlardan bir diğeridir. Dayanıklılık testleri zaman alıcı, yıkıcı ve maliyetli olduğundan, tuf gibi gözenekli taşların dayanıklılığını Nokta yükleme, Brazilian dolaylı çekme gibi taşların küçük parçaları ile test edilebilen çok az tahribatlı veya Schmidt çekici, Ultra ses hızı gibi tahribatsız yöntemler tercih edilmiştir (Sousa, 2014; Salvatici vd., 2020; Aboubacar vd., 2021). Bu çalışmalarda, taşların, Su emme, Porozite, Özgül ağırlık, Birim hacim ağırlık parametreleri araştırılmış ve taş basınç dayanımına olan etkisini değerlendirmiştir. Bunun yanında, aşınma deneyi aşınmaya karşı taşın duyarlılığını kontrol ettiği için taş seçiminde negatif puan göstergesi olarak kullanılmıştır (Aboubacar vd., 2021). Bunların taşlara negatif etki eden en agresif mekanizmalar olduğu pek çok araştırmacı tarafından da kabul edilmektedir (Sousa, 2014; Aboubacar vd. 2021). Bu çalışmada, taşların aşınma durumlarının basınç dayanımı ile ilişkisi de incelenmiştir. Yapıdaki taşların ve yerine kullanılacak yeni tuf taşının aşınmaya bağlı davranışlarının yanı sıra, fiziksel ve mukavemet özellikleri bulunarak, yeni taşın mevcut taşlardan hangilerine uygun olacağını tahmin eden bir model geliştirilmiştir. Ekonomik ve pratik uygulanabilirliği olan bu araştırma, restore edilecek yapının tahribatına neden olmadan da bir çözüm önerisi sunmaktadır. Ayrıca, daha az bilinen Geniş disk aşınma, Nokta yükleme ve Brazilian dolaylı çekme gibi dünyaca kabul edilmiş test yöntemleri önerilmektedir. Buradaki amacımız, alternatif taşın seçiminde yapıya zarar vermeyecek veya en az zararla pratik ve ekonomik bir ölçüt geliştirmektir. Böylece, bu çalışmada kullanılan çözüm yöntemleri, restorasyon teknolojisinin gelişmesine katkı sağlayacaktır.

### 3.2 Yerinde ve Laboratuvarda Taşların Test Edilmesi (Testing of Stones with In-situ and Laboratory Studies)

Bu çalışmada, özgün malzeme yerine kullanılacak taşın doğru olarak tahmin etmemize yarayacak pratik ve ekonomik bir model önerilmiştir. Bu model, taş kaynaklarındaki değişkenlik, pahalı ve

karmaşık yöntemlerin uygulanması ve ülkeden ülkeye değişen laboratuvar deney standartlarının seçimindeki belirsizliklerin önlenmesine katkıda bulunacaktır. Karmaşık test yöntemleri kullanılmadan önce, daha basit olan görsel muayene, tahribatsız deneyler ile taş hakkında oldukça önemli bilgiler elde edilir. Tahribatsız yöntemler termografi, flatjack, Schmidt sertliği, radar araştırmaları, ultra ses gibi deney yöntemleri olarak sıralanabilir. Kullanım kolaylığı ve ekonomik açıdan, en sık kullanılan deneyler ise taşınabilir ultrasonik ses hızı testi ve mekanik özelliklerin yerinde tespiti için Schmidt çekici testidir. Bu çalışmada, tahribatsız deneylerden yaygın olarak kullanılan Schmidt sertliği (SH) ve ultra ses ( $V_p$ ) test yöntemleri tercih edilmiştir. Bunun yanında taşların iç ve dış faktörlerinin etkilerinin değerlendirilmesi için bazı standart olmayan deneyler de kullanılmaktadır (Aboubacar vd., 2021). Bu çalışmada, tahribatlı taş muayenesi için uygulaması basit, zaman almayan, ekonomik, en düşük tahribatı veren ve çağdaş mekanik deney yöntemleri olan Nokta yükleme (I<sub>s</sub>), Brazilian dolaylı çekme (BRT), Tek eksenli basınç (UCS), Geniş Disk Aşınma (GD) deneyleri tercih edilmiş ve (ISRM,1981) ve (TS699,2009) standartlarına uygun olarak deneyler yapılmıştır.

Günümüzde bilim insanları, tarihi yapılardaki taşların jeolojik kökenini, kimyasal bileşimini belirlemek, uzun vadeli davranışı hakkında bilgi sahibi olmak ve yerine kullanılacak taşın kökeninin mevcut taşa uygunluğunu araştırmak amacıyla çeşitli standartlara uygun mineralojik ve kimyasal deneyler yapmaktadır. Bunlar genellikle Avrupa Standartları, Uluslararası Kaya Mekanik Birliği (ISRM, 1981) tarafından önerilen yöntemlerdir. Bu çalışmada, Kayseri'deki tüflü taşların kimyasal analizleri yapılmış, ana elementler olarak SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, FeO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, CaO, MnO, MgO, TiO<sub>2</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, H<sub>2</sub>O ve CO<sub>2</sub> oksitlerin % oranları şeklinde ifade edilmiştir. Laboratuvar ortamında ise araziden alınan yeterli sayıda numune üzerinde birim hacim ağırlık, porozite, su emme ve özgül ağırlık deneyleri yapılmıştır (Şekil 3).



Şekil 3. Test edilen tuf taşlarının deney öncesi ve deney sırasında bazı numune görüntüleri (Some images of tuff stone samples used in the experiment before and during the experiment)

Taşlarının renginin belirlenmesinde görsel ölçüm ve sayısal olarak standart bilgisayarlarla çalışan dijital kameralar kullanılarak iki yöntemle yapılmıştır. Görsel ölçüm için taş renginin, bilinen sabit renk skalaları ile karşılaştırılması ile renk tespit süresi oldukça kısa ve maliyeti düşüktür. Bu yöntemde taş ve skala aynı ışık kaynağı altında, özellikle en ideali gün ışığında öğlen saatlerinde (gün ışığının beyaz renk yaklaşık 6000 Kelvin olunca) karşılaştırılmıştır. Gözlemci, taşın rengini seçerken ışık kaynağı önemlidir. Bir taşın algılanan rengi, maruz kaldığı ışığın türü, diğer renkli objelerle olan ilişkisi ve gözlemcinin

değerlendirme yeteneğinden etkilenir. Dolayısıyla taşlar farklı ortamlarda farklı renklerde görünebileceği için renk belirlemede tutarsızlıklar olmakta, standardizasyon sağlanamamaktadır. Bilgisayar uygulamalarıyla çalışan dijital renk ölçüm cihazlarının kullanımı ile daha objektif, tekrarlanabilir ve hızlı ölçümler yapılabilmektedir. Bilgisayar görüntü analizlerinde bilgisayar monitörlerinde görüntülenen görüntüler RGB renk kodlarını içeren üç boyutlu renk matrisi ile tanımlanır. Bilgisayar ekranında görüntülenen herhangi bir görüntünün renkleri, her monitör pikseli için RGB renklerinin birleştirilmesiyle üretilir.

Bilgisayarların grafik kartı teknolojisi, her ana renk (RGB) bandını 256 eşit bölümlere böler (Schalkoff, 1989; Winkler 1997). Tablo 4'te, taşlarda gözlemlenen bazı ana renkler ve bunların RGB renk kodları göstermektedir. Sayısallaştırılmış renk değerleri, dijital RGB kodlarıyla belirtilmiştir. Schmidt sertlik testi, ISRM'ye (1981) göre 2,207 Nm darbe enerjisine sahip N-tipi çekiç ile gerçekleştirilmiştir. Tüm testler, ISRM (1981) tarafından tanımlanan yaklaşık 23 kg ağırlığa sahip çelik bir V bloğunda çekiç dikey olarak aşağı ve dik açıyla tutularak normalize edilmiştir. Taş blokları üzerinde geniş bir alanda (20cmx20cm) bulunan sıva kaldırılmış ve zımpara taşı ile yüzey düzeltilerek temizlenmiştir. Yapılan tekli darbelerden gelen 20 geri tepme değeri kaydedilmiş ve üst on değerlerin ortalaması, taşın geri tepme sayısı olarak alınmıştır. Çekiç okumaları duvar üzerinde yapılmış ve 5 cm uzunluğundaki küp numuneler üzerinde tekrarlanmıştır. Ölçüm üzerindeki herhangi bir anizotropik etkiyi ortadan kaldırmak için her numunenin mikroskobik kusurlar açısından incelenmiştir. Yerde testin, doğal yüzeylerin pürüzlülüğü, yüzeyin altındaki çatlakların varlığı için kontrol edilmiş ve kuru yüzey olmasına da dikkat edilmiştir. Ultrasonik dalga hızı ( $V_p$ ) yönteminde, ultrasonik hız dalgasının yayılma değişimleri analiz edilir. Ultrasonik P dalga hızı katılarda, sıvılardakinden, sıvılarda da havadakinden daha hızlı bir şekilde yayılmaktadır. Taşlarda ultrasonik hız değerini etkileyen birçok faktör bulunmaktadır. Bunlardan önemli olanları; taşın tipi, dokusu, dane boyutu ve şekli, Porozitesi, yoğunluğu, su içeriği, sıcaklığıdır. Malzeme homojenliğinin incelenmesini mümkün kılan bu yöntem, doğal taş yapıların değerlendirilmesinde önemli yöntem olarak kabul edilebilir. Darbe hızının belirlenmesinde ses dalgasının geçtiği duvar kalınlığı, uzunluk (cm) olarak belirlenir ve geçiş süresi mili saniye ( $\mu s$ ) bulunur. Uzunluğun zamana oranı ile sismik hız ( $V_p$  km/s) değerleri hesaplanır. Bu çalışmada, kullanılan taşların  $V_p$  (km/s) değerleri Pundit ultrasonik hız ölçüm cihazı ile belirlenmiştir. Pundit cihazında bir alıcı, dönüştürücü ve bir gösterge bulunur. Göstergeden, sadece ultra ses dalgalarının süresi okunur. Nokta yük dayanımı testi, genellikle kayanın basınç dayanımının dolaylı bir ölçüsü olarak bilinmektedir. Bu test, numune hazırlama kolaylığı, küçük şekilsiz taş parçalarına uygulanabilirliği ve saha uygulamaları nedeniyle pratik olarak kullanılmıştır. Bu çalışmada, ISRM'ye (1981) göre her gruptaki numunelerin düzensiz şekilli parçalarından, laboratuvarında hazırlanan yaklaşık 5cm çapında, 2,5 cm kalınlığında üç silindirik disk haline getirilmiş numuneler üzerinde eksenel nokta yük testleri yapılmıştır. Yapılan testlerin ortalaması alınarak kırılma yükünün eşdeğer çap olan kalınlığının karesine bölünerek her taş grubunun nokta yükü dayanım endeksi  $I_s$  (MPa) bulunmuştur. Tüm testler laboratuvarında hava ile kurutulan numuneler ile yapılmıştır. Brazilian dolaylı çekme deneyi, disk şeklinde hazırlanmış kayaç örneklerinin çapsal yükleme altında çekilme dayanımlarının dolaylı yoldan tayini amacıyla yapılmıştır. Örneklerinin uçlarından sabitlenerek çekilmesi şeklinde uygulanan doğrudan çekme deneyine göre genellikle biraz daha yüksek çekme dayanımları elde edilmektedir. Örneklerin deneye hazırlanması ve deneyin yapılışı açısından daha pratik olması nedeniyle Brazilian yöntemi yaygın şekilde kullanılmaktadır. Bu yöntemle, düzensiz şekilli duvar taş parçalarından, laboratuvarında hazırlanan her grup

taş için 3 adet yaklaşık 5cm çapında, 2,5 cm kalınlığında silindirik disk haline getirilmiş numuneler üzerinde testler yapılmıştır. Kırılma kuvvetinin kesit alanına (çevre uzunluğunun yarısı ile kalınlığının çarpımı) bölünmesiyle elde edilen deneyin ortalaması alınarak her grubun BRT (MPa) değerleri bulunmuştur. Tek eksenli basınç (UCS) deneyi iki adet 5x5x5 cm<sup>3</sup> boyutlarında ve her grupta üç adet çapı 5 cm boyu 10 cm olan silindir numuneler ile tabakaya paralel ve normal kesilmiş yüzeyi pürüzsüz numuneler kullanılarak yapılmıştır. Kırılma kuvvetinin alanına oranı olacak şekilde ve ortalaması alınarak her grubun Tek eksenli basınç (UCS) değeri hesaplanmıştır. Geniş disk aşınma deneyi (GD) kısa deney süresi ve pratik kullanım özellikleri nedeniyle kullanılmıştır. Çalışmada her gruptan iki adet 10cmx10cmx5cm numune kullanılmış ve 2 örneğin toplamda 4 yüzeyinde olmak üzere aşınma deneyi yapılmıştır. GD aşınma deneyinde, aşındırıcı toz kullanılarak 200 mm çapında ve 70 mm genişliğinde disk ile numunelerin yüzeyleri aşındırılmıştır. Dönen diskin aşındırdığı mesafenin ölçümü yapılarak dört deneyin ortalaması alınarak her gruptaki taşların aşınma kaybı değerleri bulunmuştur.

#### 4. Bulgular ve Tartışmalar (Results And Discussions)

Kayseri Tarihi Sümerbank Bez Fabrikası'nın Abdulah Gül Üniversitesi Sümer Kampüsü'ne dönüştürülme sürecinde, Kayseri Gesi ilçesindeki taş ocağından (A Grup taşlar) ve tarihi yapının Büyük Ambar Binası ile Giriş Kapısı'ndan alınan tuf taş numuneleri (B,C,D,E Grup taşları) üzerinde Tek Eksenli Basınç Dayanımı (UCS), Birim Hacim Ağırlık (Kuru) (BHA), Porozite (n), Su Emme (Ağırlıkça), Ultrases boyuna dalga hızı ( $V_p$ ), Schmidt Sertliği (SH), Nokta Yükleme Dayanım Endeksi ( $I_s$ ), Brazilian Dolaylı Çekme Dayanımı (BRT), Geniş Disk Aşınma (GD) ve Özgül Ağırlık ( $G_s$ ) deneyleri yapılmıştır. Kayseri Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu İnşaat Bölümü Malzeme Laboratuvarı'nda yapılan bu deneylerde A kodlu numune yeni taş, B-C-D-E kodlu taşlar ise duvarda mevcut taşlardır. Yapılan bu deneylerin sonuçları Tablo 3'te görülmektedir.

Bağımlı değişken UCS ile diğer bağımsız değişkenler arasındaki ilişkilere bakıldığında, taşların mekanik özelliklerini olumsuz yönde etkilen en önemli unsurların başında Porozite miktarı gelmektedir. İnceleme yapılan taşlarda %55 ile en yüksek Porozite değerine sahip olan (E) numunesi, ortalama basınç dayanım değeri açısından da en düşük seviyede olmuştur. Tek eksenli basınç dayanımı değerleri (A) grubu tuf taşında 13,51 MPa, (B) grubu tuf taşında 9.19 MPa, (C) grubu tuf taşında 9,73 MPa, (D) grubu tuf taşında 20,74 MPa ve (E) grubu tuf taşında 4,84 MPa olarak bulunmuştur. Tüm grup numuneler için bu modeli önemli oranda etkileyen basınç dayanımının diğer deneysel parametreler arasındaki doğrusal ilişkiyi göstermek için, eğriye ne kadar iyi uyduğunu gösteren bir ölçüt olarak determinasyon katsayısı ( $R^2$ ) değerleri Şekil-4 de verilmiştir.

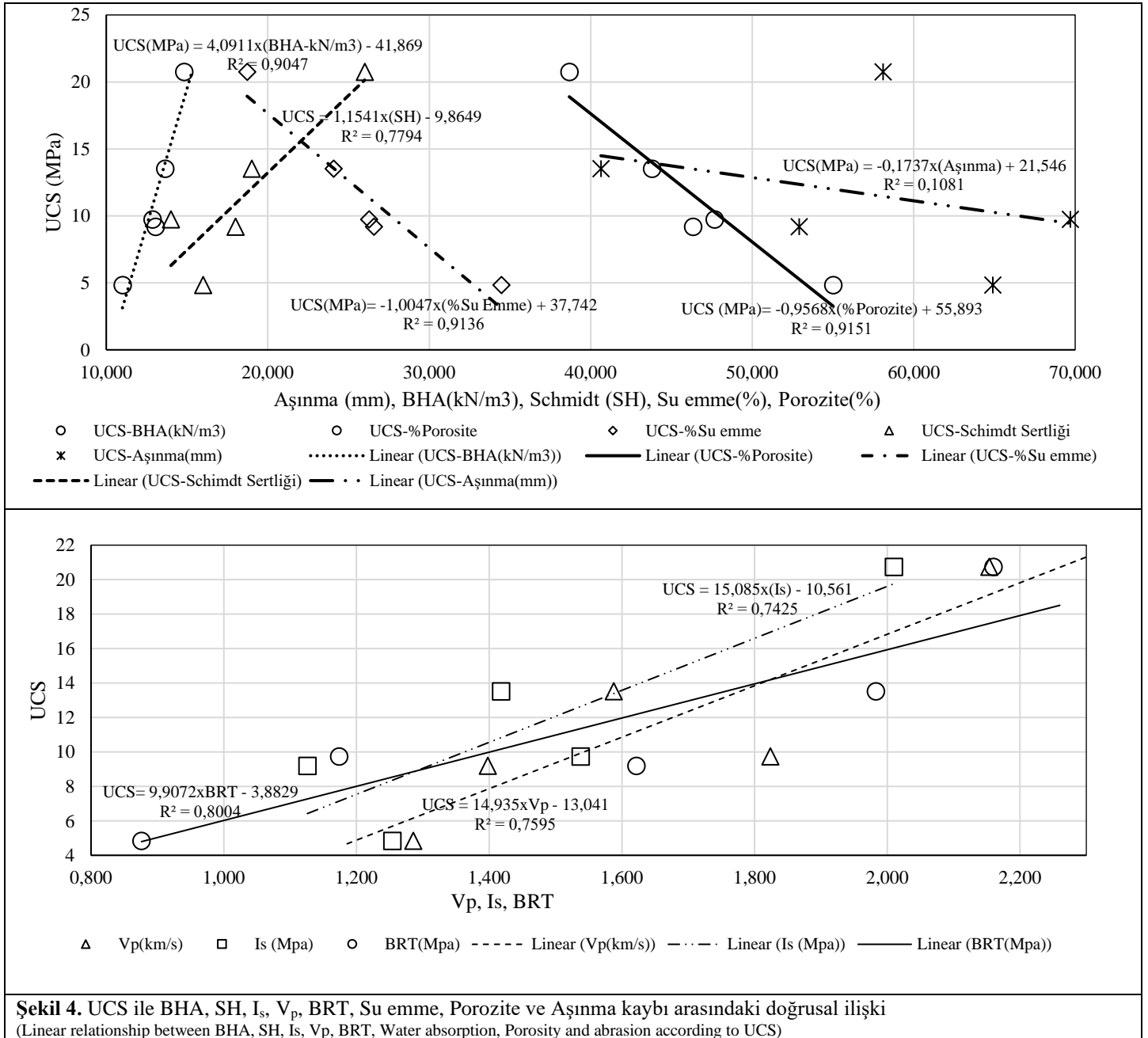
**Tablo 3.** Taşların fiziksel ve mekanik deneylerden elde edilen parametreleri (Parameters of stones obtained from physical and mechanical experiments)

Deney Numune Grupları	UCS (Mpa)	BHA (kN/m <sup>3</sup> )	Porozite %	Su emme %	V <sub>p</sub> (km/s)	SH Schmidt	I <sub>s</sub> (Mpa)	BRT (Mpa)	Aşınma Kaybı (mm)	Özgül Ağırlık G <sub>s</sub>
(A) Yeni önerilen taş	13,51	13,64	43,78	24,07	1,588	19	1,418	1,983	40,63	2,470
(B) Yapıda Mevcut taş 1	9,19	13,05	46,33	26,57	1,398	18	1,126	1,622	52,90	2,480
(C) Yapıda Mevcut taş 2	9,73	12,85	47,67	26,27	1,824	14	1,538	1,174	69,7	2,510
(D) Yapıda Mevcut taş 3	20,74	14,81	38,67	18,72	2,154	26	2,010	2,160	58,1	2,480
(E) Yapıda Mevcut taş 4	4,84	11,00	55,00	34,46	1,286	16	1,254	0,876	64,9	2,530

A: Tarihi duvarda tahrip olmuş taşın yerine koyulacak yeni tüf taşı; B, C, D, E: Tarihi yapıda var olan mevcut tüf taşları; UCS: Tek Eksenli Basınç Dayanımı; BHA: Kuru Birim Hacim Ağırlık; V<sub>p</sub>: Ultrases Dalga Hızı; SH: Schmidt Sertliği; I<sub>s</sub>: Nokta Yükleme Dayanım Endeksi BRT: Brazilian Dolaylı Çekme Dayanımı

Bu grafiklerden de görüldüğü üzere UCS ile BHA, SH, I<sub>s</sub>, V<sub>p</sub> ve BRT arasında pozitif yönde doğru orantılı olup UCS arttıkça diğer

deneysel parametrelerin artışı belirlenmiş ve determinasyon katsayıları sırasıyla 0,9047, 0,7794, 0,7425, 0,7595 ve 0,8004 olmuştur (Şekil 4).



Bunun aksine, UCS ile Su emme, Porozite ve Aşınma kaybı değerleri arasında negatif yönde doğru orantı olup UCS arttıkça bu parametrelerin azaldığı belirlenmiştir (Şekil 4). Buradan elde edilen bilgiler doğrultusunda yeni taşın, mevcut taşlara uyumluluğu için basınç dayanımı deneyleri ile elde edilen UCS, Is ve SH parametrelerinin toplamda %45, fiziksel özellikleri temsil eden BHA, Gs, Su emme ve Vp parametrelerinin %35, Çekme dayanımının %10 ve Aşınma kaybının %10 etkisi olacağı düşünülmüştür. Bu çalışmada kullanılan yüzde oranlarının belirlenmesinde ileride yapılacak ulusal veya uluslararası destekli bir proje kapsamında daha detaylı olarak araştırılması yazar tarafından önerilmektedir. Kayseri Sümer Bez Fabrikası restorasyonu kapsamında duvarlarında kullanılan taşların yerine yeni taşın seçimi için önerilen model Tablo 4 de verilmiştir. Burada puanlama hesabı yapılırken pozitif veya negatif yüzde

bağlı hata (benzerlik fazlası veya benzerlik eksisi) olarak değerlendirilmiştir. Yüzde bağlı hata hesaplamasının amacı, ölçülen bir değer gerçek bir değere ne kadar yakın olduğunu ölçmektir. Tablo 4'teki modelde kullanılan puanlama sistemi istatistik biliminde yüzde bağlı hata olarak bilinmektedir. Burada kullanılan yüzde hata (çalışmada benzerlik fazlası veya eksisi olarak kullanılmıştır), mevcut ve yeni taşın deneysel olarak bulunan bir parametresi arasındaki farkın yeni taşın değerine bölünmesi ve yüzde vermek için 100 ile çarpılmasıdır. Hata yüzdesi, pozitif (olumlu benzerlik fazlası) veya negatif (olumsuz benzerlik eksisi) bir değere sahip olabilir. Pozitif ve negatif işaretler, mevcut taşın ait bir parametrik değer, referans olan yeni taşın bir parametresinden beklenen değerlerin üstüne veya altına düşüp düşmediğini belirlemek için kullanılmıştır (Tablo 4)

**Tablo 4.** Tarihi Endüstri yapıların korunmasında doğal taşın değiştirilmesi için değerlendirme modeli (Evaluation model for the replacement of natural stone in the preservation of Historic Industrial buildings)

Deney Türü	Yapılan Deneyler	A (Yeni Taş)	B (MevcutTaş1)	C (Mevcut Taş2)	D (Mevcut Taş3)	E (MevcutTaş4)	
Renk Tanıma	Görsel Renk Durumu ve Taş Türü	Gri Tüf-Gesi	Gri Tüf	Gri Tüf	Gri Tüf	Gri Tüf	
	Aletli Renk Kodları (Red-Green-Blue)	RGB 141,132,124	RGB 147,141,135	RGB 148,132,119	RGB 154,145,139	RGB 209,209,209	
	% Benzerlik Puanı	%93 Kahverengi	%93 Gri	%96 Kahverengi	%94 Gri	%92 Kahverengi	
	<b>YAPILAN DENEYLER</b>	% Etkisi	Yeni Taş A	Mevcut Taş1 B	Mevcut Taş2 C	Mevcut Taş3 D	Mevcut Taş4 E
Fiziksel Özellikler (%35) (%35= %7*5)	Birim Hacim Ağırlık (kN/m <sup>3</sup> )	7%	13,64	13,05	12,85	14,81	11
	X <sub>1</sub> % Benzerlik fazlası veya eksisi		0%	-0,3	-0,4	0,6	-1,4
	Özgül Ağırlık, G <sub>s</sub>	7%	2,47	2,48	2,51	2,48	2,53
	X <sub>2</sub> % Benzerlik fazlası veya eksisi		0,0	0,0	0,1	0,0	0,2
	Porozite, n (Açık Gözeneklilik)	7%	43,78%	46,33%	47,67%	38,67%	55%
	X <sub>3</sub> % Benzerlik fazlası veya eksisi		0,0	-0,4	-0,6	0,8	-1,8
	Su emme %	7%	24,07	26,57	26,27	18,72	34,46
	X <sub>4</sub> % Benzerlik fazlası veya eksisi		0,0	-0,7	-0,6	1,6	-3,0
	V <sub>p</sub> (km/s)	7%	1,588	1,398	1,824	2,154	1,286
X <sub>5</sub> % Benzerlik fazlası veya eksisi		0,0	-0,8	1,0	2,5	-1,3	
Basınç Dayanımı (%45)	Schmidt Çekici değeri	15%	19	18	14	26	16
	X <sub>6</sub> % Benzerlik fazlası veya eksisi		0,0	-0,8	-3,9	5,5	-2,4
	Ort.Nokta Yükleme, Is (MPa)	15%	1,418	1,126	1,538	2,01	1,254
	X <sub>7</sub> % Benzerlik fazlası veya eksisi		0,0	-3,1	1,3	6,3	-1,7
	Ort. UCS (Mpa)	15%	13,51	9,19	9,73	20,74	4,84
X <sub>8</sub> % Benzerlik fazlası veya eksisi		0,0	-4,8	-4,2	8,0	-9,6	
Çekme Dayanımı %10	Ort. Brazilian Dolaylı Çekme, BRT (MPa)	10%	1,983	1,622	1,174	2,16	0,876
	X <sub>9</sub> % Benzerlik fazlası veya eksisi		0,0	-1,8	-4,1	0,9	-5,6
Aşınma Dayanı mm %10	Ort. Aşınma Kaybı (mm)	10%	40,63	52,9	69,7	58,1	64,9
	X <sub>10</sub> % Benzerlik fazlası veya eksisi		0,0	-3,0	-7,2	-4,3	-6,0
	<b>TOPLAM PUAN</b>		0,0	-15,8	-18,6	21,9	-32,6



Mevcut bir taşın, toplam yüzde benzerlik puanı sıfır olması durumunda yeni taşla aynı parametreye sahip olduğu, mevcut taşın toplam puanı pozitif ise yeni taşla göre daha iyi özelliklere sahip olduğu ve toplam puan negatif ise mevcut taşın yeni taşla göre daha olumsuz özelliklere sahip olduğu anlaşılır. Kısaca toplam puanı sıfır olan yeni taş, ondan daha düşük özelliklere sahip (negatif puan olan) mevcut taşların yerine renk uyumu sağlanması koşulu ile kullanılabilir. Bunun aksine, yeni taşla göre daha iyi özelliklere sahip (puanı pozitif olan) mevcut taşların yerine yeni taşın kullanılması uygun olmayacaktır. Mevcut taşların, UCS, BRT, Is, SH, Vp değerleri yeni taşın aynı parametresinden daha büyük olursa puana pozitif etki yapmakta ancak Su emme, Porozite ve aşınma kaybı değerleri büyük olursa negatif etki yapmaktadır. Tablo 4'te toplam puana göre en iyi özelliklere sahip taşlar sırasıyla D (21,9), A (0,0), B (-15,8), C (-18,6) ve E (-32,6) dir. Toplam puanlar incelendiğinde, B, C ve E grubu yapıda mevcut taşların yerine, daha iyi fiziksel ve mekanik davranışlara sahip olan A grubu taş yeni taş olarak kullanılabilir. Bunun aksine toplam puanı +21,9 olan D grubu mevcut taşların yerine A grubu taşın kullanılması uygun olmayacaktır.

#### 4. Sonuç (Conclusion)

Restorasyon açısından tarihi taşların korunması en önemli konudur, ancak binanın korunmasının yeni malzemelerin ve yedek taşların kullanılmasını gerektirdiği durumlar da vardır. Bu restorasyon çalışmalarında, dayanım özelliği ve görünüm açısından anıtlar uyumlu uygun taş kaynakları bulmak zorlu bir görevdir. Bu çalışmada, tarihi endüstri yapısı olan Kayseri Sümer Bez Fabrikası duvarlarında bulunan mevcut taşların ve yerine kullanılacak yeni taşın türlerinin fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri belirlenerek, kırılan, bozulan deforme olan mevcut taşların yerine yeni taşın seçimi için bir model önerilmiştir.

Tahribatsız deneylerden Ultrases dalga hızının ve Schmidt sertliğinin, yaygın kullanım nedeniyle, tercih edilmesi önerilmiştir. Nokta yükleme, Brazilian dolaylı çekme ve Geniş disk aşınma gibi deneyler, diğer tahribatlı deney yöntemlerine göre daha hızlı ve ekonomik olması yanı sıra zaman ve ekonomiden tasarruf da sağlayan doğal taşların özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan modern yöntemlerdir. Önerilen bu modelde, test sonuçlarına göre bu yapıda kullanılan tuf taşlarının Schmidt sertlikleri, Tek eksenli basınç dayanımları, Nokta yükleme basınç dayanımları, Ultrases dalga hızları ile Birim hacim ağırlık değerleri puan hesaplamasında pozitif yönlü olumlu benzerlik yüzdesi sağlarken, Porozite, Su emme ve Aşınma kaybı değerlerinin puana negatif yönlü etki yaptığı belirlenmiştir. Yapılan deney sonucunda, tuf taşlarının basınç dayanımlarının artmasıyla dolaylı çekme dayanımı ve Vp dalga hız değerleri doğru orantılı olarak artmakta, Porozite ve kütlece su emme değerleri ise aynı şekilde doğru orantılı olarak azalmaktadır. Yeni kullanılacak tuf taşın yapıda mevcut taşlara uygun olup olmadığını belirleyen en önemli etkenler olarak Porozite ve Su emme gibi fiziksel özelliklerin ve basınç dayanımı parametrelerinin olduğu belirlenmiştir. Bunun yanında taşların toplam puan hesaplamasında aşınma kaybı ve dolaylı çekme dayanımının da etki ettiği varsayılmıştır. Sonuç olarak, objektif ölçütlere dayanan yeni bir yaklaşımla, yerine kullanılacak taş çok daha doğru tahmin etmemize olanak veren ve farklı nitelikteki uyumsuz taşların kullanılma riskini azaltan bir model oluşturulmuştur. Mevcut taşın yerine kullanılacak uyumlu veya

daha iyi özelliklere sahip yeni taş tespit etmede, pratik ve ekonomik yönleri olan bu model ile bilim ve teknolojiye katkı sağlanacağı düşünülmektedir. Ayrıca TÜBİTAK, UNESCO, Avrupa Konseyi, ICOMOS ve ICCROM ile iş birliği yapılarak, tarihi endüstri yapıların dışında diğer eski eserler için de araştırma desteği sağlanarak yeni çalışmalar yapılabileceği ve dünyanın diğer bölgelerindeki tarihi yapılar için de bir model olabileceği planlanmaktadır. Aynı zamanda, malzeme kayıtları olmayan benzer yapılar için geliştirilen bu model ile tarihi yapıyla uyumlu taşın seçilmesinde gereksiz analizlerin yapılması önlenecek, böylece en az müdahale ile tarihi doku korunarak benzer diğer uygulamalar için örnek teşkil edecektir.

#### 5. Teşekkür (Acknowledgment)

Bu çalışmada yapılan arazi ve laboratuvar deneylerimi yaparken Kayseri Üniversitesi İnşaat Programı Öğretim görevlisi Sayın Öğretim Görevlisi Dr. Ergün Yeşilyurt ve Mimari Restorasyon programı Sayın Öğretim Görevlisi Neslihan Babacan'a özellikle teşekkür etmek istiyorum.

#### Kaynakça (References)

- Aboubacar, M. H., Yavuz, A. B., Tanyu, B. F., Sarı, S. A. (2021). Investigation of the quality of armour stones used in rubble mound breakwater in Güzelbahçe (İzmir), Turkey, *Environmental Earth Sciences*, 80(11), 1-20.
- Acar, M. C., & Kaya, B. (2020). Models to estimate the elastic modulus of weak rocks based on least square support vector machine, *Arabian Journal of Geosciences*, 13(14), 1-12.
- Aldoasri, M. A., Darwish, S. S., Adam, M. A., Elmarzughi, N. A., & Ahmed, S. M. (2017). Protecting of marble stone facades of historic buildings using multifunctional TiO2 nanocoatings, *Sustainability*, 9(11).
- Andriani, G., Walsh, N. (2003). Fabric, porosity and water permeability of calcarenites from Apulia (SE Italy) used as building and ornamental stone, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 62(1), 77-84.
- Brown, E.T., ISRM (1981). *International Society for Rock Mechanics Suggested Methods: Rock Characterization, Testing and monitoring*, Oxford.
- Çelik, M. Y., & Sert, M. (2021). An assessment of capillary water absorption changes related to the different salt solutions and their concentrations ratios in the Döğer tuff (Afyonkarahisar-Turkey) used as building stone of cultural heritages, *Journal of Building Engineering*, 35, 102102.
- Del, M. S. T. T., & Tabrizi, S. K. (2020). A methodological assessment of the importance of physical values in architectural conservation using Shannon entropy method, *Journal of Cultural Heritage*, 44, 135-151.
- Gary, M., Mcafee, R. (1972). *Glossary of geology American geological institute. American Geological Institute, Washington, DC, 1972.*
- Gibeaux, S., Vázquez, P., De Kock, T., Cnudde, V., & Thomachot-Schneider, C. (2018). Weathering assessment under X-ray tomography of building stones exposed to acid atmospheres at current pollution rate, *Construction and Building Materials*, 68, 187-198.
- Grazzini, A., Fasana, S., Zerbinatti, M., & Lacidogna, G. (2020). Non-destructive tests for damage evaluation of stone columns: The case study of Sacro Monte in Ghiffa (Italy), *Applied Sciences*, 10(8), 2673.

- ISRM (1981) Rock characterization, testing and monitoring. In: Brown ET (ed) 1981. International Society for Rock Mechanics (ISRM) Suggested Methods. Pergamon, Oxford, p 211
- Kayseri Koruma Kurulu Bölge Müdürlüğü Raporu 12.12.2003.
- Kevseroğlu, Ö. (2011) Endüstriyel miras alanlarının kent peyzajına entegrasyonunun değerlendirilmesi: Sümerbank Kayseri Bez Fabrikası Örneği, *Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Klimek, B., & Grzegorzczak-Frańczak, M. (2021). Properties of Mortars with Recycled Stone Aggregate for the Reconstruction of Sandstone in Historic Buildings, *Sustainability*, 13(3), 1386.
- Martínez-Martínez, J., Pola, A., García-Sánchez, L., Agustin, G. R., Ocampo, L. O., Vázquez, J. M., & Robles-Camacho, J. (2018). Building stones used in the architectural heritage of Morelia (México): quarries location, rock durability and stone compatibility in the monument, *Environmental earth sciences*, 77(5), 1-1.
- Michette, M., Viles, H., Vlachou, C., & Angus, I. (2021). In-situ, non-destructive testing for evaluating the role of pointing mortar in preventive conservation strategies. a case-study on Reigate stone at the Wardrobe Tower, Tower of London, *Minerals*, 11(4), 345.
- Oakeshott, W. (Ed.). (1975). *Oxford stone restored: the work of the Oxford Historic Buildings Fund, 1957-1974*. (London-Oxford University Press) for the Trustees of the Fund.
- Onur, B. (2021). Endüstri kenti Karabük'ün modern mahallesi Yenişehir'de konut tipolojileri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (23), 666-677.
- Özcan, U., & Güngör, S. (2019). Geleneksel Türk Evi ile Geleneksel Japon Evi'nin Yapısal Açından Karşılaştırılması, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (16), 646-661.
- Přikryl, R., Török, Á. (2010). Natural stones for monuments: their availability for restoration and evaluation, *Geological Society, Special Publications* 333, 1-9.
- Pşikryl, R. (2007). Understanding the earth scientist's role in the pre-restoration research of monuments: an overview, *Geological society london special publications, building stone decay from diagnosis to conservation*, 271, Pşikryl, R., Smith, B.J. (Eds.), 9-21.
- Pşikryl, R., (2006). "New Natural Stone" for the reconstruction of Charles Bridge in Prague, *Heritage, Weathering and Conservation*, 1, Fort, R., Alvarez de Buergo, M., Gomez-Heras, M., Vazquez-Calvo, C. (Eds.), London, 23-29.
- Saba, M., Lizarazo-Marriaga, J., Hernandez-Romero, N. L., & Quiñones-Bolaños, E. E. (2019). Physico-mechanical characterization of the limestone used in Cartagena walls and a proposal for their restoration process, *Construction and Building Materials*, 214, 420-429.
- Salvatici, T., Calandra, S., Centauro, I., Pecchioni, E., Intrieri, E., & Garzonio, C. A. (2020). Monitoring and evaluation of sandstone decay adopting non-destructive techniques: On-site application on building Stones, *Heritage*, 3(4), 1287-1301.
- Schalkoff, R.J. (1989). *Digital image processing and computer vision*. New York: John Wiley and Sons, p. 489, 1989.
- Serkan, A. (2010). İstanbul tarihi yarımada'daki antik yapılarda ve anıtlarda kullanılan doğal taşların özellikleri ve korunmuşluk durumları, *Restorasyon ve Konservasyon Çalışmaları Dergisi*, (6), 31-42.
- Sobotka, A., Linczowski, K., & Radziejowska, A. (2021). Substitution of Material Solutions in the Operating Phase of a Building, *Applied Sciences*, 11(6), 2812.
- Sousa, L. M. (2014). Petrophysical properties and durability of granites employed as building stone: a comprehensive evaluation, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 73(2), 569-588.
- Şen E., Kürkcüoğlu B., Aydar E., Gourgaud A., Vincent, P.M. (2003). Volcanological evolution of mount erciyes stratovolcano and origin of the Valibaba Tepe ignimbrite (Central Anatolia, Turkey)., *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 125:225-246.
- Tanrıverdi, Ş., & Çelik, T. (2021). Farklı dolgu malzemeleri ile sabitlenen zıvanaların yığma taş blokların kayma dayanımına etkisi, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (25), 347-354.
- Török, Á., & Přikryl, R. (2010) Current methods and future trends in testing, durability analyses and provenance studies of natural stones used in historical monuments, *Engineering Geology*, 115(3-4), 139-142.
- TS 699 (2009) Methods of testing for natural building stones. Turkish Standards Institution, Ankara
- Winkler, E. M. (1997). *Color and color stability of stone*. In *Stone in Architecture (pp. 91-110)*. Springer, Berlin, Heidelberg.



# Almanya'dan Konaklama Amacıyla Türkiye'ye Gelen Turist Sayısının Yapay Zekâ Teknikleri Kullanılarak Tahmin Edilmesi

Hande Erdoğan<sup>1</sup>, Mustafa Terzioğlu<sup>2</sup>, Mehmet Kayakuş<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup> Akdeniz Üniversitesi, Uygulamalı Bilimler Fakültesi, Yönetim Bilişim Sistemleri Bölümü, Antalya, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-0638-4853), handeerdogan@akdeniz.edu.tr

<sup>2</sup> Akdeniz Üniversitesi, Korkuteli Meslek Yüksekokulu, Muhasebe ve Vergi Bölümü, Antalya, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-4614-7185), mterzioglu@akdeniz.edu.tr

<sup>3\*</sup> Akdeniz Üniversitesi, Sosyal ve Beşeri Bilimler Fakültesi, Yönetim Bilişim Sistemleri Bölümü, Antalya, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-0394-5862), mehmetkayakus@akdeniz.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 16 Ağustos 2021 ve Kabul Tarihi 3 Kasım 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.983323)

**ATIF/REFERENCE:** Erdoğan, H., Terzioğlu M. & Kayakuş, M. (2021). Almanya'dan Konaklama Amacıyla Türkiye'ye Gelen Turist Sayısının Yapay Zekâ Teknikleri Kullanılarak Tahmin Edilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (27), 961-971.

## Öz

Turizmde turist sayısı odaklı talep tahmini çalışmaları, sosyal bilimlerin iktisat, finans ve turizm literatüründe detaylı incelenen konular arasında gelmektedir. Bu çalışmada AB ülkeleri içerisinde Akdeniz Bölgesi'nde önemli destinasyon merkezlerine sahip Türkiye'yi konaklama amacıyla en çok tercih eden Alman turist sayısı tahmin edilmeye çalışılmıştır. Çalışmada geleneksel bir yöntem olan çoklu doğrusal regresyon yöntemi ile önemli öğrenme tekniklerinden olan yapay sinir ağı ve destek vektör regresyonu teknikleri kullanılarak bu üç yöntemle oluşturulan modellerin tahmin gücü karşılaştırılmıştır. Araştırmada turist talebinde bulunan Almanya'nın literatürde de kullanılan makroekonomik ve nüfus bilgileri bağımsız değişkenler olarak kullanılmıştır. 1998-2019 dönemini kapsayan bu araştırmada diğer tekniklere göre yapay sinir ağı tekniği ile kullanılan tahmin modelinin en yüksek tahmin gücüne sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu yöntemi tahmin gücü açısından sırasıyla çoklu doğrusal regresyon ve destek vektör regresyonu teknikleri ile kullanılarak yapılan tahmin modelleri izlemektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Turizm, konaklama, çoklu doğrusal regresyon, yapay sinir ağı, destek vektör regresyonu, Almanya, Türkiye

## Forecasting The Number of Tourists Coming to Turkey for Accommodation from Germany Using Artificial Intelligence Techniques

### Abstract

Demand forecasting studies focused on the number of tourists in tourism are among the topics that are examined in detail in the economics, finance, and tourism literature of social sciences. In this study, it has been tried to estimate the number of German tourists among EU countries, who prefer one of the most important destination centers in the Mediterranean Region, Turkey for accommodation purposes. In the study, the predictive power of the models created by these three methods using multiple linear regression method and artificial neural network and support vector regression techniques, which are important learning techniques, were compared. Macroeconomic indicators and population, which are widely used in the literature, were used as independent variables in determining the German tourist demand. In this study covering the period of 1998-2019, it was concluded that the prediction model used with the artificial neural network technique has the highest predictive accuracy compared to other techniques. This method is followed by prediction models using multiple linear regression and support vector regression techniques, respectively.

**Keywords:** Tourism, Accommodation, Multiple Linear Regression, Artificial Neural Network, Support Vector Regression, Germany, Turkey

\* Sorumlu Yazar: [mehmetkayakus@akdeniz.edu.tr](mailto:mehmetkayakus@akdeniz.edu.tr)

## 1. Giriş

Turizm insanlar için bir sosyo-kültürel faaliyet olarak değerlendirilse de ülke ekonomileri söz konusu olduğunda sadece gelir getirici bir faaliyet alanı olarak değil ekonomiyi birçok yönüyle harekete geçirmesiyle de önemli bir endüstri koludur. Turizm ile ülkenin sahip olduğu tüm üretim faktör değerleri birbiriyle etkileşime geçmekte ve bu etkileşim, ekonominin ivmelenmesine neden olmaktadır. Bu yüzden akademisyenler ve karar vericiler ülkelerin turizm hareketliliğini tahmin edebilmek ve bu tahminlerden hareketle doğru hedefler koyabilmek için büyük çaba harcamaktadır. Ancak yukarıda da belirtildiği gibi turizm sosyo-kültürel bir faaliyet olduğu için ülkedeki ekonomik birimler içinde olgulardan ilk etapta etkilenen faaliyet alanıdır. Örneğin, küresel ekonomik şoklar, terörist eylemler, salgın hastalıklar, savaşlar, doğal afetler gibi olgular ekonomi içerisinde ilk önce turizm faaliyetlerini yavaşlatmaktadır. Bu durum turizme yönelik tahmin çalışmalarını titizlikle yapılmasına neden olmaktadır.

Bu titiz çalışma gerekliliği ve turizmin özel yapısı nedeniyle çalışmanın literatür kısmında da görüleceği gibi tahmin doğruluğu açısından ağır basan tek bir tahmin modeli bulunmamaktadır. Yapılan çalışmalar birbirinden çok farklı değişkenleri ihtiva etmektedir. Çalışmada, literatürdeki diğer çalışmalarda da kullanılan makroekonomik değişkenler ele alınmıştır. Bunun nedeni, turizmde hizmet alan ülkenin genel ekonomik ve nüfus verilerinin hizmet veren ülkeye olan turist talebine etkisidir. Seçilen bu bağımsız değişkenler ile oluşturulan modellerin tahmin gücünün daha yüksek olacağı düşünülmektedir.

Turizm talebini tahmin etmeye yönelik ilk çalışmalar regresyon yöntemlerinin kullanıldığı zaman serisi modelleridir ve geçmişte yapılan çalışmalarda başarılı sonuçlar alındığı görülmektedir. Bu modellerde çoğunlukla bağımlı değişken olarak turist talebini ifade eden turist sayısı ele alınmış ve turist sayısını önemli ölçüde etkileyebilecek bağımsız değişkenler ile modeller oluşturulmuştur. Çalışmanın bir diğer amacı da turizm alanında son yıllarda sıklıkla birçok alanda karşılaşılan, insan zekasını simüle eden yapay sinir ağı olarak bilinen yöntemin ve yine bir makine öğrenimi olan destek vektör regresyonunun artık geleneksel diyebileceğimiz regresyon yöntemlerinden biri olan çoklu doğrusal regresyona göre tahmin gücünü karşılaştırmaktır. Bu bakımdan özellikle Türkiye üzerine yapılan diğer turist tahmini çalışmalarından ayrılmaktadır. Aynı zamanda, bu araştırma için oluşturulan yapay sinir ağı ve destek vektör regresyonu teknikleri çoklu doğrusal regresyona göre başarılı bir tahmin gücüne ulaşırsa, turizm endüstrisindeki yöneticiler ve ülkelerdeki karar vericiler için daha doğru planlama ve hedef oluşturmalarına imkân taniyacaktır.

Çalışmada hizmet alan ülke olarak Almanya'nın seçilmesinin iki nedeni bulunmaktadır. Bunlardan ilki, Alman vatandaşlarının uzun yıllara yayılan Türkiye'ye olan talebidir. Almanya, özellikle 1980'lerde başlayarak Türkiye'nin turizm sektörünü gelişimini katkı veren en önemli ülke konumundadır. 1980'lerden başlayarak 2016 yılına kadar olan dönemde Türkiye'ye konaklama amaçlı en çok tercih eden ülke Almanya'dır. İkinci olarak, Almanya'nın güçlü ekonomik yapısıdır. Bu güçlü ekonomik yapı sayesinde Alman vatandaşlarının Türkiye'ye olan turizm taleplerinde oynaklığın

daha az olacağı düşünülmektedir. Bu durum, yapılacak tahmin çalışmasının başarısını artıracaktır.

Çalışmanın literatür kısmında çalışmanın konusu ve yöntemlerini benzer inceleyen yayımlara yer verilmiştir. Literatürün ikinci kısmında özellikle araştırmamızda turizmde hizmet veren ülke konumundaki Türkiye'ye yönelik çalışmalara yer verilmiştir. Ardından çalışmanın modelleme yöntemleri üzerine bilgiler verilmiş ve bu yöntemlerin analiz sonuçları paylaşılmıştır. Sonuç kısmında bulgular tartışılarak bu araştırmanın önemi özetlenmektedir.

## 2. Literatür

Turizm talep tahmini çalışmaları literatürde oldukça fazla yöntem ve modelleme çalışması yapılarak ele alınan bir konudur. Bu nedenden ötürü öncelikle bu konu hakkında literatür araştırması ile yapılan çalışmalara yer verilecektir. Daha sonra ise araştırmanın metodolojisine benzer son zamanlarda yapılan literatürdeki örnekler paylaşılacaktır. Literatür araştırmasının son kısmında çalışmanın uygulama örneği olan Türkiye üzerine yapılan çalışmalar incelenecektir.

Li vd. 2005'teki araştırmalarında 1960-2002 yıllarını kapsayan geniş çaplı araştırmalarında ekonometrik modellerle turizm talebi konusunda yayımlanan 420 çalışma olduğunu tespit etmiştir (Li, Song, & Witt, 2005). Song ve Li (2008) yayımlanan çalışmalarında ise 2000-2006 dönemini kapsayan 171 araştırma olduğunu tespit etmişlerdir. Bu çalışmalar önceki dönemlere göre turizm talep tahmin çalışmalarının hem coğrafi çeşitlilik hem de gelişmiş tahmin metodlarının kullanılması nedeniyle iş hayatı kullanıcıları için bir rehber niteliği taşımaktadırlar (Song & Li, 2008). Goh ve Law (2011) yapmış oldukları literatür tarama çalışmasında 1995-2009 dönemini kapsayan turizm talebi tahmini konusunda 155 araştırma makalesini incelemişlerdir. Çalışmaların ekonometrik tabanlı yöntemler, zaman serisi teknikleri ve yapay zekâ modelleri olmak üzere üç kategoride yoğunlaştığını tespit etmişlerdir. Yaptıkları analizler neticesinde eşbütünlük, hata düzeltme modeli, zamanla değişen parametre modeli gibi daha gelişmiş yöntemlerin ve bunların denklem sistemleri ile kombinasyonlarının tahmin doğruluğu açısından daha iyi sonuçlar verdiğini ifade etmişlerdir (Goh & Law, 2011). Wu vd. 2017'de yayımlanan 2007-2015 dönemindeki 171 akademik yayını inceledikleri çalışmalarında, konaklama sektörüne odaklanan çalışmaların turizm talebine göre nispeten daha az olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca gittikçe daha fazla sayıda çalışmanın toplam turizm talep analizinden uzaklaştığı, buna karşın ayrılmış pazarların ve niş ürünlerin giderek daha fazla ilgi gördüğünü ifade etmişlerdir. Bu dönemde özellikle çevresel faktörler, e-ticaret üzerindeki turist davranışı ve tüketici güveni göstergeleri gibi turizm ve konaklama talebinin dinamikleri üzerine çalışmaların dikkat çekici oranda arttığını ortaya koymuşlardır (D. C. Wu, Song, & Shen, 2017). Khaidi vd. (2019) turizm talebinde kullanılan değişken ve tekniklere yönelik 2010-2018 dönemini araştıran literatür incelemelerinde bağımsız değişken olarak en çok ülkelerin elde ettiği turizm harcaması, döviz kuru ve gayrisafi milli hasıla değişkenlerinin kullanıldığını tespit etmişlerdir. Bunun yanında turizm talebini tahmin etmede zaman serisi analizi, nedensellik teknikleri ve yapay zekâ yöntemlerinin kullanıldığını ortaya koyarak turizm talebi için hangi modellerin en iyi performans gösterdiğini belirlemenin zor olduğunu işaret etmişlerdir. Bununla birlikte, çalışmaların çoğunda, birleşik modellerin tek modelden daha iyi

performans gösterdiği sonucuna ulaşmışlardır (Khaidi, Abu, & Muhammad, 2019).

Law ve Au 1999'da yayımlanan çalışmalarında 1967-1996 yılları arasındaki dönemde Hong Kong'a konaklama amacı ile gelen Japon turistlerin sayısını doğrusal çoklu regresyon ve ileri beslemeli yapay sinir ağı yöntemleri ile tahmin etmeye çalışmışlardır. Çalışmalarında hizmet fiyatı, ortalama otel fiyatı, döviz kuru, nüfus, pazarlama giderleri ve GSYİH (gayrisafi yurtiçi hasıla) verilerini bağımsız değişken (giriş birimi) olarak kullanmışlardır. İleri beslemeli yapay sinir ağı ile kurdukları modellerin doğrusal regresyon ile kurdukları modele göre daha başarılı sonuçlar verdiklerini paylaşmışlardır (Law & Au, 1999). Law'un 2000 yılında yayımlanan makalesinde ise Hong Kong'a konaklama amacıyla gelen Tayvanlı turist sayılarını doğrusal çoklu regresyon, ileri beslemeli ve geri yayımlı yapay sinir ağı yöntemleriyle bağımsız değişken (giriş birimi) olarak hizmet fiyatını, ortalama otel fiyatını, döviz kurunu, nüfusu, pazarlama giderlerini ve kişi başına harcama kalemlerine göre GSYİH verilerini kullanarak tahmin etmiştir. 1967-1996 dönemini kapsayan bu çalışmada Law, geri yayımlı yapay sinir ağı tekniğinin doğrusal çoklu regresyon ve ileri beslemeli yapay sinir ağı tekniğine göre daha başarılı tahmin sonucu verdiğini paylaşmıştır (Law, 2000).

Chen vd. 2012 yılındaki çalışmalarında turizm sektöründe yaşanan çok fazla dalgalanma ve karmaşık ilişkiler nedeniyle melez bir teknik önerisinde bulunmuşlar ve bunu test etmişlerdir. Bu çalışmalarında, turizm talebini (gelenlerin sayısını) tahmin etmek için öncelikle deneysel mod ayrışımına gidilmiş ve sinir ağına dayalı yeni bir tahmin modeli önerilmiştir. Çalışma alanı olarak Ocak 1971'den Ağustos 2009'a kadar Japonya, Hong Kong ve Makao'dan Tayvan'a gelen uluslararası turist gelişleri tahmin edilmeye çalışılmıştır. Bu melez teknik ile geleneksel otoregresif bütünleşmiş hareketli ortalama (ARIMA) tekniği ve geri yayımlı yapay sinir ağı tekniklerini karşılaştırmışlardır. Elde edilen sonuçlar, melez tekniğin klasik tekniklere göre oldukça başarılı sonuçlar sunduğunu göstermiştir (C.-F. Chen, Lai, & Yeh, 2012).

Claveria vd.'nin 2015'teki çalışmalarında konaklama işletmelerine gelen turist sayısı tahminlerini iyileştirmek için yeni bir yaklaşım uygulamayı amaçlayan çalışmalarında turist yollayan ülkelerden turist girişlerinin evrimindeki çapraz korelasyonların sinir ağı modellerinde belirli bir destinasyona dahil edilmesine izin veren çok değişkenli bir model geliştirmişlerdir. Bu çoklu girdi-çoklu çıktı yaklaşımı, tüm turist yollayan ülkeler için aynı anda tahminlerin üretilmesine olanak tanımaktadır. 2001'den 2012'ye kadar Katalonya'ya (İspanya) gelen turistler üzerinde yapılan çalışma, üç farklı ağ ile bir, üç ve altı ay sonrasına ilişkin tahminler oluşturmak için kullanılmıştır. Çalışma, farklı pazarlar arasındaki bağlantıları hesaba katan çok değişkenli mimarilerin, yapay sinir ağlarının tahmin performansını artırabileceğini ortaya koymuştur. Ek olarak, yazarlar yeni bir tahmin doğruluğu ölçüsü geliştirmişler ve radyal temel işlev ağlarının diğer modellerden daha iyi performans gösterdiğini bulmuşlardır (Claveria, Monte, & Torra, 2015).

Law vd. (2019) derin öğrenme yaklaşımı, destek vektör regresyonu ve yapay sinir ağı tekniklerini kullanarak Çin ana karasından Makao'ya gelen turist hacmini tahmin etmeye çalışmışlardır. Ocak 2011-Ağustos 2018 dönemini kapsayan çalışmalarından aylık olarak Makao ile ilgili yemek, konaklama, ulaşım, tur, giyim, alışveriş ve rekreasyon gibi anahtar kelimeler

üzerinden Google arama motorunda yapılan sonuçları değişken olarak kullanmışlardır. Çalışmanın sonucunda derin öğrenme yaklaşımının diğer iki tekniğe göre daha başarılı bir tahmin yeteneği olduğunu tespit etmişlerdir (Law, Li, Fong, & Han, 2019).

Zhang vd. (2020) turizm talep tahmini çalışmalarında sıklıkla karşılaşılan sınırlı veri hacmi ve ek açıklayıcı değişken ihtiyacını bertaraf edecek yapay sinir ağı temelli yeni bir tekniği 2012-2018 dönemi arası Hong Kong'a gelen turist sayısı üzerinde test etmişlerdir. İki eğitici katmandan oluşturdukları yeni teknikle ekstra ve bu iki eğitici katmandan geçen veri çıktısı konsantre edilerek yoğun bir eğitici katmandan geçirilmek üzere tekrar hesaplanmıştır. Bu yeni tekniğin standart yapay sinir ağları, destek vektör regresyonu, ARIMA gibi tekniklerden daha yüksek ve güvenilir sonuçlar verdiğini ortaya koymuşlardır (Zhang, Li, Muskat, & Law, 2021).

Ertek vd. 2002 yılında yaptıkları çalışmalarında çift logaritmik çoklu regresyon modeli kullanarak KKTC'ye olan 1998-2010 yılları için turizm talebini trend analizi ile tahminleyerek sektörün ihtiyaç duyduğu yatak sayısı, yatırım miktarı, istihdam sayısı, su-elektrik ihtiyacı ve deniz ve uçak yolu ile KKTC'ye ulaşım ihtiyacının planlanması konusunda karar vericilere yol göstermeyi amaçlamışlardır. KKTC'ye Türkiye, İngiltere ve Almanya olmak üzere üç farklı ülkeden gelen turist tahminlemesi için turistin geldiği ülkedeki fiyat endeksinin turistin gittiği ülkedeki fiyat endeksine bölünmesiyle elde edilen nisbi fiyat bağımsız değişken, turist sayısı ise bağımlı değişken olarak belirlenmiştir. Elde ettikleri bulgulara göre turistin geldiği ülkelerde gelirin artmasıyla KKTC'ye o ülkelerden gelen turist sayısı artmakta, nisbi fiyatlar, turist gönderen ülkelerdeki fiyatlara nazaran azalırse KKTC'ye daha fazla turist gelmektedir (Ertek, Altınay, & Bıçak, 2002).

Baldemir ve Bahar 2003 yılında yaptıkları çalışmalarında 1984-1999 yılları arasında ülkemize en çok turist gönderen ülkelerden ABD, İngiltere, Almanya, Fransa ve Avusturya turizm talebini geri-beslemeli sinir ağı, çoklu regresyon, saflık (naive) ve hareketli ortalama olmak üzere her ülke için ayrı ayrı tahminlemişler ve her ülkenin en iyi tahmin performansını veren modeli belirlemişlerdir. Belirledikleri ülkelerden gelen turist sayısını bağımlı değişken olarak seçen yazarlar, Türkiye'ye nispeten yabancı TÜFE'nin yurtiçi TÜFE'ye oranını ifade eden hizmet fiyatları, turist başına düşen ortalama harcama miktarını ifade eden hayat standardı, ilgili ülkelerin çapraz döviz kuru, turist gönderen ülkelerin nüfusu, ortalama reklam tanıtım vb. harcamaları ve ilgili ülkelerin GSYİH'sı olmak üzere de altı bağımsız değişken belirlemişlerdir. Sinir ağı modelinin diğer modellere göre (İngiltere hariç) hem tahmin sonuçlarına hem de tahmin değerlerinin karşılaştırılmasına göre daha doğru sonuçlar verdiğini tespit etmişlerdir (Baldemir & Bahar, 2003).

Karahan, 2015 yılındaki çalışmasında dönem, hava sıcaklığı, turizm geliri, döviz kuru, aylık TUFİ ve yıllık TUFİ olmak üzere altı bağımsız değişkeni ve bağımlı değişken olarak ise aylık turist sayısını kullanarak Ocak 2010-Aralık 2013 dönemi için ileri beslemeli geri yayımlı bir yapay sinir ağı ile tahminleme gerçekleştirmiş, modelin performansını MAPE istatistiği ile değerlendirmiş ve Ocak-Haziran 2014 için aylık Denizli ili için turizm talebini tahminlemiştir. Çalışmanın neticesinde YSA ise turizm işletmelerine olan talebin doğru tahmin edilebildiğini, geleneksel tahminleme yöntemlerinin yanında alternatif olarak da YSA modelinin kullanılabileceğini vurgulamıştır (Karahan, 2015).

Çuhadar ve Kayacan (2005) çalışmalarında Türkiye'de bakanlık belgeli konaklama işletmelerindeki 1990-2002 aylık dış turizm talebine bağlı oluşan doluluk oranlarını ileri sürümlü yapay sinir ağları ile tahmin etmeyi amaçlamışlardır. İşletmelerin aylık doluluk oranlarının bağımsız değişken; aylar itibarıyla toplam tesis sayısının, aylık yatak sayısının, konaklayan yabancı turistlerin aylık toplam sayısının, yabancı turistlerin aylık olarak toplam geceleme sayısının ve yabancı turistlerin aylık olarak ortalama kalış sürelerinin bağımlı değişken olarak alındığı çalışmalarında modelin performansı MSE, RMSE, MAPE teknikleri ile değerlendirilmiştir. Modelden elde ettikleri aylık tahmini doluluk oranları ile gerçekleşen doluluk oranları karşılaştırıldığında YSA'nın gerçeğe çok yakın sonuçlar verdiği tespit edilmiştir (Çuhadar & Kayacan, 2005).

Güngör ve Çuhadar 2005 yılında yaptıkları çalışmalarında Antalya'ya gelen Alman turist talebini tahmin etmek için yapay sinir ağı, çoklu doğrusal regresyon ve çoklu eğrisel regresyon modelini kullanmış ve bu modellerin tahmin performanslarını karşılaştırarak en iyi performans gösteren, daha düşük sapma değerine ve daha yüksek açıklama oranına sahip model olarak yapay sinir ağı modeliyle 2005 ve 2006 yılları için aylık tahminler yapmışlardır. Modellerinde Ocak 1991-Temmuz 2014 yıllarına ilişkin verileri kullanan yazarlar, bağımlı değişken olarak Antalya'ya gelen Alman turist sayıları; bağımsız değişkenler olarak da belirlenen döviz kurları, turist kabul eden ülkedeki tüketici fiyat endeksi, turist gönderen ülkedeki kişi başına harcanabilir net milli gelir ve turist gönderen ülkedeki tüketici fiyat endeksi değişkenlerini seçmişlerdir. İleriye yönelik tahmin çalışması yapan yazarlar, en iyi sonucu veren model olarak yapay sinir ağları ile aylık tahminleme yaparak turizm sektöründeki karar vericilere yol göstermeyi amaçlamışlardır (Güngör & Çuhadar, 2005).

Karagöz, 2008 yılındaki çalışmasında Türkiye'ye gelen turistlerin sayılarını etkileyen faktörleri ve ülkelerin büyüklüklerin akımı artırdığı, uzaklığın ise aşındırıcı etkide bulunduğu temel hipotezine dayanan çekim modeli ile Türkiye'nin ülkelere göre turizm potansiyelini ortaya çıkarmayı amaçlamıştır. Bu çalışmayla yazar Türkiye turizminin hangi ülkeler için potansiyelinin altında kaldığını, hangi ülkeler için potansiyeline ulaştığını ve hangi ülkeler için potansiyelini aştığını incelemiştir. Çalışmasının bulguları arasında Türkiye'ye gelen turist sayısının, turistleri geldiği ülkenin ekonomik büyüklüğünden olumlu, ülkenin uzaklığından ise olumsuz yönde etkilendiği yer almaktadır. Bunun yanında turistlerin geldiği ülkenin nüfusunun büyük olması, turist gelişini etkilememektedir. Turistlerin geldiği ülkenin Türkiye ile ortak sınıra sahip olması, ortak kültürel-tarihsel vb. bağın olması turist akımını önemli yönde etkilediği, ülkenin Müslüman bir ülke olmasının ise turizm akımı üzerinde anlamlı ancak azaltıcı bir etki gösterdiği ve turistlerin geldiği ülkenin bir Avrupa ülkesi olmasının ise istatistiksel olarak anlamlı olmadığı da diğer bulguları arasındadır (Karagöz, 2008).

Önder ve Hasgül (2009) çalışmalarında Türkiye'ye Ocak 1986-Ekim 2007 yılları arasında gelen yabancı turist sayılarını kullanarak Kasım 2007- Aralık 2010 yıllarına ilişkin talep tahminlemesini üstel düzgünleştirme yöntemi, doğrusal ve mevsimsel düzgünleştirme-Winters yöntemi ve Box-Jenkins yöntemini kullanarak gerçekleştirmişler ve sonuçları yapay sinir ağları yöntemleri ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırmayı amaçlamışlardır. Yazarlar, dış turist sayısının tahmininde yapay sinir ağların ürettiği hata değerlerinin daha yüksek çıkmasına

rağmen klasik yöntemlere alternatif kullanılabileceğini tespit etmişlerdir (Önder & Hasgül Kuvat, 2009).

Emir 2010 yılındaki çalışmasında Doğu Karadeniz bölgesinin turist talebini etkileyen faktörleri belirlemeyi ve faktörlerden hangilerinin bölge kontrolünde olduğunu test etmeyi amaçlamış ve bu amaçla bağımlı değişken olarak bölgede konaklayan turist sayısını; bağımsız değişkenler olarak da kişi başı gelir, döviz kurları, tüketici fiyatları endeksi ve turistik işletme belgeli yatak sayısını temel alacak şekilde çoklu regresyon yöntemini tercih etmiştir. Beş ayrı ülkeden bu bölgeye 1985-2000 arası turizm talebini ayrı ayrı tahminlemek için oluşturduğu modeli f ve t testleri ile inceleyen yazar, analizinin sonrasında turist talebini en çok etkileyen değişkenin yatak sayısı olduğunu tespit etmiştir (Emir, 2010).

Kara vd. (2012) çalışmalarında iki aşamalı Engle-Granger, Johansen VAR analizi ve Johansen yöntemine bağlı olarak Granger nedensellik, etki-tepki analizi ve varyans ayrıştırması analiz yöntemlerini kullanarak turizm gelirlerinin farklı makroekonomik değişkenlerle olan ilişkilerini incelemişlerdir. Bu ilişkiyi belirlemek adına turizm gelirleri, reel üretim endeksi, reel döviz kuru, cari işlemler açığı değişkenlerini tercih etmişlerdir. Bu amaçla üç model oluşturan yazarlar model bazında sırasıyla turizm gelirleri ile iktisadi büyüme, turizm gelirleri ile cari işlemler dengesi ve son olarak reel döviz kuru ile turizm gelirleri arasındaki ilişkiyi ölçmeyi hedeflemişlerdir. Analizlerinin neticesinde büyümeden turizm gelirlerine tek yönlü, turizm gelirlerinden cari işlemler dengesine çift yönlü ve döviz kurundan turizm gelirlerine tek yönlü nedensellik ilişkisi olduğunu tespit etmişlerdir. Turizm sektörünün seçtikleri makro değişkenleri etkileyen ve bu değişkenlerden etkilenen bir sektör olduğu bulguları arasındadır (Kara, Çömlekçi, & Kaya, 2012).

Çuhadar, 2013 yılındaki çalışmasında Türkiye'nin aylık dış turizm talebini çok katmanlı ileri beslemeli (MLP), radyal tabanlı fonksiyon (RBF) ve zaman gecikmeli (TDNN) yapay sinir ağları ile modellemeyi ve dış turizm talebini tahminlemeyi amaçlamıştır. Bu amaçla Ocak 1987-Aralık 2012 aralığında Türkiye'ye gelen aylık yabancı turist sayılarını kullanan yazar hem girdi katmanındaki nöron sayısı hem de gizli katmandaki nöron sayısı gibi farklı mimarilere sahip üç ayrı yapay sinir ağı modeliyle elde edilen değerlerin tahmin doğruluklarını MAPE istatistiği ile değerlendirmiştir. Yapılan değerlendirme sonucunda en yüksek tahmin doğruluğunu sağlayan model olarak MLP modelini belirlemiş ve bu modeli kullanarak 2013 yılı ileriye yönelik aylık dış turizm tahminlemesi yapmıştır (Çuhadar, 2013).

Zortuk ve Bayrak 2013 yılındaki çalışmalarında Türkiye'ye gelen Alman, Rus ve İngiliz turistlere ilişkin talepleri belirlemek amacıyla gelir, turizm fiyatı, ulaşım maliyeti ve döviz kuru değişkenlerini kullanarak 1999-2013 dönemlerini içeren üçer aylık zaman serisi verileriyle HEGY mevsimsel birim kök incelemesi testi gerçekleştirmişlerdir. İnceledikleri serilere sabit terim, trend ve mevsimsel kukla olarak ifade edilen deterministik bileşenler eklenerek dört ayrı model elde edilmiştir. Her model için sıfır frekanslı serilerde birim kök varlığı kabul edilmiş olup analizlerinin neticesinde gelen turist sayısı ve gelirden mevsimsel birim kök varlığına ulaşılmış, turizm fiyatı, ulaşım maliyeti ve döviz kurunda ise mevsimsel birim kök varlık elde edilmemiştir (Zortuk & Bayrak, 2013).

Çuhadar, 2014 yılındaki çalışmasında Muğla iline yönelik dış turizm talebini Holtz-Winters çarpımsal-mevsimsel üstel düzleştirme ve Box-Jenkins yöntemleri ile modellemiş,

modellerin tahmin performansları ortalama mutlak yüzde hata (MAPE) istatistiği ile incelemiş ve daha yüksek doğruluk sunan üstel düzleştirme yöntemi ile aylar itibarıyla ileriye yönelik talep tahminlemesi yapmıştır. Hande Yazar, çalışmasında Ocak 2000-Nisan 2012 için Muğla sınırları içindeki hava ve deniz hudut kapılarından giriş yapan aylık yabancı turist sayılarını kullanmıştır. En yüksek tahmin doğruluğunu veren çarpımsal mevsimsel üstel düzleştirme modeli ile 2012 ve 2013 yılları için aylık dış turizm tahminleri üretilmiştir (Çuhadar, 2014).

Buluk ve Duran, 2018 yılında yapmış oldukları çalışmalarında 2016 yılı için Türkiye'nin öncelikle dış turizm potansiyelini belirlemek ve sonrasında potansiyeli farklı pazarları kazanmak amacıyla panel çekim modelini kullanmışlardır. Yazarlar çalışmalarında 2016 yılı ülkemize gelen ve en az bir gece konaklama yapan turist sayısı, turist gönderen ülkenin 2016 yılı kişi başı GSYİH'sı, turist gönderen ülkenin 2016 yılı GSYİH'sı ve turist gönderen ülkenin başkentinin Türkiye'ye olan uzaklığı değişkenlerine ait veriler, Emniyet Genel Müdürlüğü'nden, Dünya Bankası'ndan ve tr.distance.to adresinden elde etmişlerdir. Çalışmalarında elde ettikleri bulgulara bakıldığında turistin geldiği ülkenin ekonomik büyüklüğü, kendi ülkeleri ile Türkiye'nin ortak sınıra ve ortak tarihsel, kültürel ve etnik bağlarına sahip olması ile turistin gelmesi arasında olumlu bir ilişkinin olduğu, ülkelerinin Türkiye'ye olan uzaklığının artması, Türkiye'nin bir Müslüman ülkesi olması ile turistlerin ülkemize gelme kararları arasında olumsuz bir ilişkinin olduğu, bunların yanında geldikleri ülkenin nüfusu ile ve geldikleri ülkenin Avrupa'da olmasının ülkemize gelişleri üzerinde hiçbir etkisinin olmadığı yer almaktadır. Ayrıca çalışmada çekim modeli tahminleri kullanılarak turizm potansiyeli ve gerçek değer arasındaki fark hesaplanarak ülkelerin potansiyel akım değerleri elde edilmiştir. Bu veriyle turizm akımının ülke bazında potansiyelin altı, potansiyele eşit ve potansiyelin üstü olduğunu göstermişlerdir. Bizim de çalışmamıza konu olan Almanya'nın potansiyelinin üzerinde turist akımına sahip ülkeler arasında ilk sırada yer aldığını belirtmişlerdir. Tespitleri arasında Almanya ve Rusya gibi ülke pazarlarının bölgesel istikrarsızlıklar, terör olayları ve güvenlik açığı gibi olumsuzluklardan daha çok etkilendikleri de yer almaktadır (Buluk & Duran, 2018).

Keskin, 2019 yılında yaptığı çalışmasında 1984-2014 yılları arasında İngiltere, Almanya, Bağımsız devletler topluluğu (BDT), İran gibi Türkiye'ye en çok turist gönderen ülkelerin ülkemize olan turizm talebinin görünürde ilişkisiz regresyon (GİR) yöntemiyle incelenmesini amaçlamış ve bu amaçla Türkiye'ye yönelik turizm talebini araştırmak amacıyla geleneksel talep denklemi temelli ancak bu modelden farklı olarak her ülke için çok denklemlerli bir model kullanmıştır. Modelinde bağımlı değişken olarak ilgili ülkelerden Türkiye'ye gelecek en az bir gece konaklayan toplam turist sayısı; bağımsız değişkenler olarak ise ülkemize turizmde rakip olan Akdeniz'e kıyısı olan ülkelerin fiyat endeksi, ikame fiyat, ilgili ülkenin kişi başına reel gelir ve Türkiye'nin turizm fiyat endeksi değişkenlerini seçmiştir. GİR ile yapılan analiz sonrasında yazar, Türkiye'nin fiyat endeksinin tüm denklemlerde anlamlı olmadığını, rakip ülkelerin fiyat endekslerinin artmasının İran hariç ülkemize olan talebi arttırdığını, gelir değişkeninin ülkemize olan talebi arttırdığını tespit etmiştir. Ayrıca kişi başına gelir seviyesi düşük ülkelerin tatil için ülke seçimlerinde fiyatın belirleyici olduğunun da altını çizen yazar, GİR yönteminin birçok ülkeden ülkemize yönelik turizm tahminlemesinde kullanılabileceğinin altını çizmiştir (Keskin, 2019).

Zorlutuna ve Bircan 2019 yılında yaptıkları çalışmalarında Türkiye'ye olan turizm talebinin ay bazında tahmin edilmesinde zaman serileri analizlerinden ARMA ve ARIMA yöntemlerini ve yapay sinir ağları yöntemlerinden ileri beslemeli ağ yapısı, danışmanlı öğrenme stratejisini ve MLP modelini kullanmayı ve tahmin performanslarına bakarak en iyi yöntemin belirlenmesini amaçlamışlardır. Çalışmalarının sonunda yapay sinir ağlarının zaman serileri analizine göre daha gerçekçi değerlere ulaştığını göstermişlerdir (Zorlutuna & Bircan, 2019).

Çuhadar 2020 yılında yapmış olduğu çalışmasında Türkiye'nin Ocak 2003-Mart 2020 dönemi aktif turizm gelirlerinin Box-Jenkins yöntemi, yapay sinir ağları ve üstel düzeltme yöntemlerini kullanarak tahminlemeyi ve tahmin performansını MAPE istatistiği ile değerlendirerek en yüksek performansı gösteren yapay sinir ağları yöntemiyle 2020 aylık turizm gelirlerini tahmin etmeyi amaçlamıştır (Çuhadar, 2020).

### 3. Materyal ve Metot

#### 3.1. Veri Seti

Araştırma, 1998-2019 dönemini kapsamakta ve yıllık verilerden oluşmaktadır. Analiz için toplamda 107 veri kullanılmaktadır. Veriler, T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı Yatırım ve İşletmeler Genel Müdürlüğü, Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası EVDS, World Travel & Tourism Council, knoema.com üzerinden elde edilmiştir. Analizde kullanılan değişkenler Tablo 1'de verilmiştir. Bağımsız değişkenler seçilirken araştırmanın literatür bölümünde de incelenen benzer çalışmalarda sıklıkla kullanılan makroekonomik ve nüfus verilerinden yararlanılmıştır. Aynı zamanda çalışmayı özgün yapan bağımsız değişkenler de ilave edilmiştir. Bunlardan ilki işsizlik oranıdır. Turizm hizmeti zorunlu ihtiyaçlar içerisinde yer almadığı için işsizlik oranındaki değişimlerin de turizm faaliyetlerini üzerinde etkisi olduğu düşünülebilir. Bir diğer literatürde yer almayan bağımsız değişken ise ilgili ülkenin diğer ülkelerde yapılan toplam turizm harcamasıdır. Ülkelerin ilgili yıllarda turizm harcamalarındaki değişimin yine o ülkenin turizm talebinde yaratacağı değişime etkisinin araştırılması tahmin modellerinin başarısını artırabilir. Bu nedenle bu bağımsız değişkenler de modele ilave edilmiş ve modellerde test edilmesi uygun görülmüştür.

Tablo 1. Veri seti değişkenleri

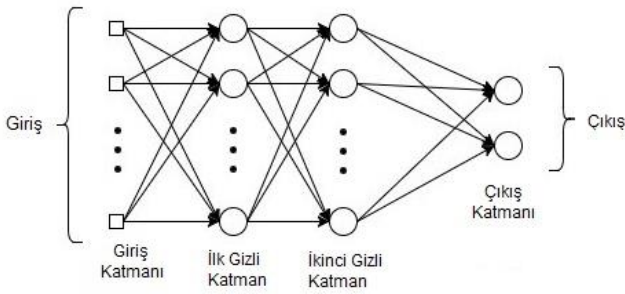
Bağımsız Değişken	Bağımlı Değişken
Almanya nüfusu	Türkiye'de konaklama tesisine gelen Alman sayısı
Almanya enflasyonu (%)	
Almanya işsizlik oranı (%)	
Almanya kişi başı GSYİH (\$)	
Almanya'nın diğer ülkelerdeki turizm harcaması (\$)	
Euro/TL değeri	

#### 3.2. Yapay Sinir Ağı Yöntemi

Yapay sinir ağları (YSA) biyolojik sinir sistemini taklit etmeyi amaçlayan hesaplamalı bir modeldir (W.-W. Wu, 2011). Bir sinir ağı, bir dizi birbirine bağlı yapay nöron, düğüm, algılayıcı ve aktivasyon fonksiyonları aracılığıyla bilgiyi işleyen

ve ileten bir grup işlem biriminden oluşmaktadır (Teixeira & Fernandes, 2012). YSA, düğümlerden oluşan bir ağ modelidir ve düğümlerin ağırlıklarla birbirine bağlı olduğu biyolojik nöron ağına benzemektedir. Bir katmanın düğümleri, bilgi gönderebilecekleri bir sonraki katmanın düğümlerine bağlanmaktadır. YSA'nın performansı temelde bağlantılarının ağırlıklarına bağlıdır. Bilgi, nöronlar arasındaki bağlantıların ağırlıkları ile temsil edilir ve depolanır (Liu, Yuan, & Liao, 2009).

Dış ortamdan gelen sinyal modelin girişi olarak adlandırılmaktadır. Öncelikli olarak giriş değerleri bağlantı ağırlıkları ile çarpılarak toplanmaktadır. Ardından bu nöron için çıktı üretmek üzere bir transfer fonksiyonundan geçirilmektedir. Aktivasyon işlevi, nöron girdilerinin ağırlıklı toplamıdır ve en yaygın kullanılan transfer işlevi sigmoid işlevidir (Agatonovic-Kustrin & Beresford, 2000).



Şekil 1. YSA yapısı (Kayakuş ve Terzioğlu, 2021)

YSA simülasyon, modelleme, sınıflandırma ve tahmin gibi birçok uygulamada kullanılmaktadır. İleri ve geri beslemeli olmak üzere iki ağ yapısı bulunmaktadır. İleri beslemeli bir ağ yapısı üç katmandan oluşmaktadır. Bağımsız değişkenleri içeren giriş katmanı, göze çarpmayan düğümleri veya birimleri içeren gizli katman ve bağımlı değişkeni içeren çıktı katmanıdır. İleri beslemeli bir ağ içinde, bilgi, herhangi bir geri bildirim döngüsü olmaksızın girdi katmanından çıktı katmanına taşınmaktadır (W.-W. Wu, 2011).

Geri yayımlı yapay sinir ağı (GYSSA), en popüler kullanılan ileri sinir ağlarından biridir. GYSSA, geri yayılım hatası olan denetimli bir öğrenme yaklaşımıdır (Wang, Wu, Zhu, & Zeng, 2020). Geri bildirim, bir katmanın çıktısının önceki katmanın girişine veya aynı katmana geri döndüğü başka bir bağlantı türüdür. Geri bildirim mimarisinin çıkıştan giriş nöronlarına bağlantıları vardır. Her nöron, eğitim hatasını en aza indirmek için ağırlıklar üzerinde değişiklikler yapmaktadır (Agatonovic-Kustrin & Beresford, 2000). GYSSA'nın eğitim başarısının sonucu bağlantı ağırlıklarına ve eşiklerine bağlıdır. Ancak, GYSSA'nın bağlantı ağırlıkları ve eşikleri rastgele başlatılır (Wang et al., 2020).

YSA'da birçok farklı öğrenme kuralı bulunmaktadır; ancak en sık kullanılan Delta kuralı veya Geri yayma kuralıdır. Sinir ağı, ağırlıkların yinelemeli olarak ayarlanarak bir dizi giriş verisini eşlemek için eğitilir. Ağırlıklı bağlantıların kullanımı YSA'nın tanıma yetenekleri için gereklidir. Girdilerden elde edilen bilgiler, nöronlar arasındaki ağırlıkları optimize etmek için ağ üzerinden ileriye doğru beslenir. Ağırlıkların optimizasyonu, eğitim veya öğrenme aşamasında hatanın geriye doğru yayılmasıyla yapılır. YSA, eğitim veri kümesindeki giriş ve çıkış değerlerini okur ve tahmin edilen ve hedef değerler arasındaki farkı azaltmak için ağırlıklı bağlantıların değerini

değiştirir. Tahmin hatası, ağ belirtilen doğruluk düzeyine ulaşana kadar birçok eğitim döngüsünde en aza indirilir. Bununla birlikte, bir ağ çok uzun süre eğitime bırakılırsa, aşırı eğitim alacak ve genelleştirme yeteneğini kaybedecektir (Agatonovic-Kustrin & Beresford, 2000).

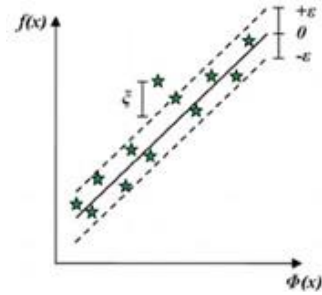
YSA performansı büyük ölçüde seçilen parametrelerden etkilenmektedir. Uygun ayar parametreleri olmadan, ortaya çıkan performans düşük ve yeteriz olabilmektedir (Kayakuş, 2021).

### 3.3. Destek Vektör Regresyonu

Vapnik 1995 yılında, istatistiksel öğrenme teorisine dayanan destek vektör makinesi (DVM) adında yeni bir öğrenme algoritması geliştirmiştir. Burada eğitim hatasını en aza indirmek yerine genelleme hatasının üst sınırını en aza indirmek amaçlanmakta ve yapısal riski en aza indirme ilkesine bağlı kalmaktadır (Chen & Wang, 2007; Vapnik, 2013).

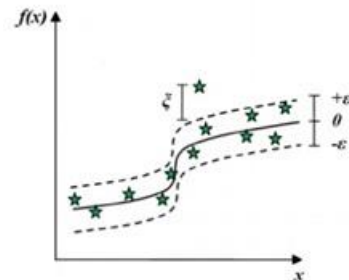
Destek vektör makineleri (DVM), eğitici bir öğrenme yöntemi olup sınıflandırma ve regresyon için kullanılmaktadır. Genellikle sınıflandırma problemleri için kullanılan DVM'nin regresyon için uyarlanması Smola ve arkadaşları tarafından yapılmış olup Destek Vektör Regresyonu (DVR) olarak adlandırılmaktadır (Smola & Schölkopf, 2004).

Doğrusal olarak ayrılabilir bir regresyon modelinde eğitim için kullanılacak N elemandan oluşan verinin  $\theta = \{x_i, y_i\}$ ,  $i = 1, 2, \dots, N$  olduğu varsayalım. Burada  $y_i \in \{-1, 1\}$  etiket değerleri ve  $x_i \in \mathbb{R}^d$  özellikler vektörüdür. Lineer olarak ayrılabilir durumda, Şekil 2'de görüldüğü gibi bu iki değerli veriler direkt olarak bir aşırı düzlem ile ayrılabilir. DVM'lerin amacı bu aşırı düzlemin iki ayrı sınıfta bulunan örnek grubuna eş uzaklıkta olmasını sağlamaktır.



Şekil 2. Doğrusal DVR modeli

Doğrusal olmayan destek vektörlerindeki ana fikir, orijinal giriş uzayının, eğitim verilerinin ayrılabilir olduğu daha yüksek boyutlu bir özellik uzayında haritalandırılabilir olmasıdır. Şekil 3'te doğrusal olmayan DVR modeli görülmektedir.





Şekil 3. Doğrusal olmayan DVR modeli

DVR modeli, verileri doğrusal olmayan bir şekilde daha yüksek boyutlu bir özellik uzayına eşlemektedir. DVR, ampirik hatalar elde etmek yerine, genelleme hatasının üst sınırını en aza indirmeyi amaçlamaktadır. Regresyon işlevi aşağıdaki gibi formüle edilmiştir:

$$f(x) = (w \cdot \Phi(x)) + b \quad 1$$

Burada  $w$  ağırlık vektörünü,  $b$  bias'ı,  $\phi(x)$  çekirdek fonksiyonu göstermektedir. Amacımız  $\omega$  ve  $b$ 'nin değerini bulmak ve böylece  $x$  değerlerinin regresyon riskini en aza indirgeyerek belirlemektir.

$$R_{reg}(f) = C \sum_{i=0}^{\ell} \Gamma(f(\chi_i) - y_i) + \frac{1}{2} \|w\|^2 \quad 2$$

Burada  $\Gamma$  bir maliyet (cost) fonksiyonu,  $C \in \mathbb{R}^+$  ise pozitif sabit bir sayıyı ifade eder.  $C$ 'nin görevi deneysel hata ile modelin eğitim verisine aşırı uyumu arasında dengeyi sağlamaktır. Bir DVR için, uygun bir çekirdek seçmek, öğrenme sürecinin başarısı için zorunludur (Karal, 2018). DVR çekirdekleri arasında spline kernel, Gaussian-RBF kernel, linear kernel and polynomial kernel ve radyal temel işlevi (RBF) çekirdekleri bulunmaktadır. Bu çekirdeklerde, RBF çekirdeği en popüler çekirdek işlevidir ve genel olarak daha iyi kararlılığa sahiptir (Hsu & Lin, 2002).

Radyal temel işlevi (RBF) çekirdek fonksiyonu:

$$K(x_i, x_j) = \exp(-\gamma |x_i \cdot x_j|^2) \quad 3$$

Lagrange çarpanları  $\alpha_i$  ve  $\alpha_i^*$ , tahminleri hedef değer olan  $y_i$ 'ye doğru iten kuvvetler olarak hareket eden yukarıdaki (3) no'lu denklem ile ikinci dereceden problemin çözümlerini temsil etmektedir. Lagrange çarpanlarının sadece sıfır olmayan değerleri regresyon hattını tahmin etmede yararlıdır ve destek vektörleri olarak bilinmektedir.  $C$  sabiti, tahmin hatalarına verilen cezaları belirlemektedir.  $w$  değeri Lagrange çarpanlarına göre çözümlenmektedir.  $b$  değişkeni için, Lagrange çarpanlarının ve kısıtlamalarının ürününün 0'a eşit olması gerektiği anlamına gelen Karush–Kuhn–Tucker (KKT) koşulları uygulanarak hesaplanabilir (Hsu & Lin, 2002).

$$\alpha_i(\varepsilon + \xi_i - y_i + (w, x_i) + b) = 0 \quad 4$$

$$\alpha_i^*(\varepsilon + \xi_i^* + y_i - (w, x_i) - b) = 0$$

$$(C - \alpha_i)\xi_i = 0 \quad 5$$

$$(C - \alpha_i^*)\xi_i^* = 0$$

$\xi_i$  ve  $\xi_i^*$ ,  $\varepsilon$ -tüpü dışındaki hataları ölçmek için kullanılan değişkenlerdir.  $\alpha_i \in (0, C)$  için  $\alpha_i, \alpha_i^* = 0$  ve  $\xi_i = \xi_i^* = 0$  olduğunda  $b$  hesaplaması:

$$b = y_i - (w, x_i) - \varepsilon \quad \text{for } \alpha_i \in (0, C) \quad 6$$

$$b = y_i - (w, x_i) + \varepsilon \quad \text{for } \alpha_i^* \in (0, C)$$

Buralarda çekirdek fonksiyonları olan düzenleme parametresi  $C$ 'nin ve  $\varepsilon$ 'nin değerleri deneyerek ideal değerleri bulunmaktadır.

### 3.4. Çoklu Regresyon Analizi

Mühendislik, fizik ve kimya bilimleri, ekonomi, yönetim, yaşam ve biyolojik bilimler ve sosyal bilimler dahil hemen hemen her alanda yaygın kullanılan ve istatistiksel anlamda değişkenler arasındaki ilişkiyi araştırmak ve modellemek için kullanılan regresyon analizi, kestirim yapabilme adına güçlü bir karar verme aracıdır (Maaouane, Zouggar, Krajačić, & Zahboune, 2021; Montgomery, Peck, & Vining, 2021).

Bağımlı değişken ile bağımsız değişken arasındaki ilişkiyi inceleyen regresyon analizi, veri açıklama, parametre tahmini, değişken seçme veya inceleme ve bağımlı değişken kontrolü olmak üzere farklı amaçlarla da kullanılabilir (Maaouane et al., 2021; Rencher & Schaalje, 2008)

Bir bağımlı değişken ile sadece bir bağımsız değişken arasındaki ilişkiyi inceleyen regresyon analizine tek değişkenli regresyon analizi, doğrusal regresyon analizi veya basit doğrusal regresyon analizi adı verilmekte ve (7) no'lu denklem ile ifade edilmektedir.

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + \varepsilon \quad 7$$

$\beta_0$  modelin sabit parametresini,  $\beta_1$  modelin eğim parametresini,  $\varepsilon$  hata terimini,  $x$  bağımsız (sebebe) değişkenini ve  $y$  bağımlı (sonuç) değişkenini ifade etmektedir.

Regresyon analizi, regresyon modelindeki bilinmeyen parametreleri tahmin etmek için yaygın olarak kullanılmakta olup en çok tercih edilen birbirine bağlı olarak değişen iki büyüklük arasındaki bağlantıyı, gerçeğe en yakın şekilde tahmin eden parametre tahmin tekniği, en küçük kareler yöntemi tekniğidir (Erilli, 2015; Montgomery et al., 2021). Bu yöntemle  $\beta_0$  ve  $\beta_1$  parametreleri tahmin edilmektedir.

Bir bağımlı değişkenin ve birden fazla bağımsız değişken arasındaki ilişkiyi inceleyen regresyon analizi ise çoklu regresyon analizi olarak adlandırılmaktadır (Rencher & Schaalje, 2008; Uyanık & Güler, 2013). Çoklu regresyon modeli, basit doğrusal regresyon modeline bağımlı değişkendeki değişimlerin nedeni olabilecek değişkenlerin eklenmesi ile oluşan, basit doğrusal modelin uzantısı olan bir modeldir. Nedensel çıkarımlar yapılmasına izin vermemekle birlikte bir dizi bağımsız değişkenin ilgilenecek bir bağımlı değişkenle nasıl ilişkilendirildiğini araştırmaya izin verilmektedir (Tranmer & Elliot, 2008).

Çoklu regresyon analizi en küçük kareler üzerine kuruludur (Hesamian & Akbari, 2021). En iyi modelde, gözlenen ve tahmin edilen parametreler arasındaki karesel hatanın toplamı minimum değer olmalıdır (Abyaneh, 2014).

Denklem 8 ile ifade edilen çoklu regresyon analizi, basit doğrusal regresyonun bir uzantısı olarak da ifade edilmektedir.

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + \varepsilon \quad 8$$

Denklem 7'deki açıklamalara ek olarak Denklem 8'de  $\beta_k$  bağımsız değişkeni  $x_k$ 'deki bir birimlik değişimin bağımlı değişken üzerindeki kısmi etkisini göstermektedir (Erilli, 2015). Denklem 7'de olduğu gibi  $\varepsilon$  bağımlı değişkendeki bağımsız değişkenler tarafından açıklanmayan kısmı ifade etmektedir bir

başka deyişle gözlemlenen ve uydurulan doğrusal ilişki arasındaki farkı yansıtan bir hata terimidir. Bu farklılığın modele dahil edilmeyen ortak etkisi, modelde açıklanamayan rassal faktörler gibi nedenleri olabilir (Shalab, 2013). Basit doğrusal regresyon analizinde olduğu gibi çoklu regresyon analizinde de nedensel çıkarımlara izin verilmezken, bir dizi bağımsız değişkenin bağımlı bir değişkenle nasıl ilişkilendirildiğini araştırmaya izin verilmektedir (Tranmer & Elliot, 2008)

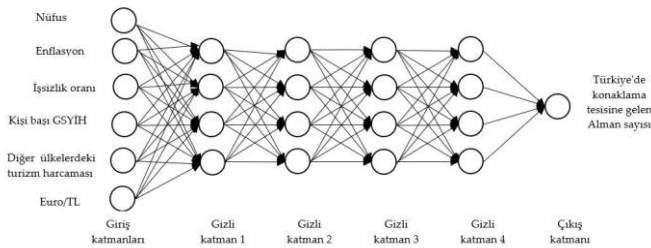
En küçük kareler yöntemi ile parametrelerin tahmin edildiği çoklu regresyon analizinde bu yöntemin uygulanabilmesi için hata terimleri arası otokorelasyonun olmaması, hata terimlerinin varyanslarının aynı olması, hata terimlerinin normal dağılım göstermesi ve bağımsız değişkenlerin birbiriyle çoklu doğrusal bağlantısının olmaması gibi varsayımların yerine getirilmesi gerekmektedir (Karabulut & Şeker, 2018; Karaca & Karacan, 2016). Bu varsayımlardan biri bile gerçekleşmezse elde edilen kestirim sonuçlarının da yanlış olması bu yöntemin en büyük dezavantajlarından biridir. Bunun yanı sıra veri türü de bu yöntemin uygulanabilirliğinde kısıt oluşturabilmektedir (Karabulut & Şeker, 2018).

## 4. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

### 4.1. Yapay Sinir Ağları Bulguları

YSA modelinde verilerin modele uyarlanması için min-max normalizasyon yöntemi kullanılmıştır. Çalışmada verilerin 0-1 aralığında doğrusal normalizasyonu yapılmıştır. Çalışmada kullanılacak veriler eğitim ve test verisi olmak üzere iki gruba ayrılmıştır. Eğitim aşamasında, tahminlerdeki hata en aza indirilene ve ağ belirtilen doğruluk düzeyine ulaşana kadar birimler arası bağlantılar optimize edilmektedir. Çalışmada eğitim ve test için ayrılacak veri setini belirlemek için çok sayıda denemeler yapılmış olup en başarılı sonucu verdiği için verilerin %70'i eğitim; %30'u test için ayrılmıştır. Verileri seçerken doğrusal örnekleme tercih edilmiştir. Bu veri seçim yöntemi her zaman ilk ve son satırı içermekte ve kalan satırları tüm tablo üzerinde doğrusal (örneğin her üçüncü satır gibi) olarak seçilmektedir.

Çalışmada yapılan testler sonucunda en başarılı sonucu verdiği için Şekil 4'te görüldüğü gibi 4 gizli katman ve her katmanda 4 nöron olmasına karar verilmiştir. Ayrıca çalışma için tercih edilen maksimum iterasyon sayısı 1000 olarak ayarlanmıştır.



Şekil 4. YSA modeli

Verilerin doğrusal bir eğriye ne kadar iyi uyduğunu gösteren R2 değerinin 1 olması, test verilerinin doğrusal bir eğri

sağlandığını göstermektedir. Çalışmanın sonucunda R2 %95,6 olmuş ve ideal değere çok yakın olduğu görülmüştür. MSE değeri bir regresyon eğrisinin bir dizi noktaya ne kadar yakın olduğunu göstermek için kullanılmaktadır. Sıfırı yakın tahmin modellerinin daha başarılı söylenebilir. Çalışmada sonucu MSE değerinin 0,004 olarak ideal değere çok yakın olduğu görülmüştür. Tahmin ettiği değerler ile gerçek değerleri arasındaki uzaklığın bulunmasında kullanılan RMSE değerinin sıfır olması modelin hiç hata yapmadığı anlamına gelir. Bu yüzden RMSE değerinin sıfır değerine yakın olması istenmektedir. Çalışmada RMSE değerinin 0,063 olduğu ve ideal değere yakın olduğu görülmüştür.

### 4.2. Destek Vektör Regresyon Bulguları

Destek vektör regresyonunun (DVR) doğrusal ve doğrusal olmayan olmak üzere iki modeli bulunmaktadır. Çalışmada doğrusal olmayan destek vektör regresyon modeli kullanılmıştır. Çalışmada çekirdek fonksiyonlardan Polynomial, Hyper Tangent ve Radial basis function (RBF) yöntemleri kullanılarak yapılan testler sonucu en başarılı sonucu verdiği için Radial basis function (RBF) tercih edilmiştir. Overlapping penalty, giriş verilerinin ayrılabilir olmaması durumunda kullanılan faydalı bir parametredir. Yanlış tahmin edilen her noktaya ne kadar ceza verileceğini belirlemekte böylelikle doğruluk oranının artırılmasını sağlamaktadır. Çalışmada overlapping penalty için farklı değerler test edilmiş ve en başarılı sonucu 100'de verdiği görülmüştür. Sigma değeri içinde yapılan testler sonucu 1,0 olmasına karar verilmiştir.

DVR yönteminde yukarıdaki parametreler kullanılarak yapılan testler sonucu R2 0,622; MSE 0,014; RMSE 0,117 olmuştur. Bu değere göre çıkış değişkenimiz olan tesise gelen Alman turist sayısı toplam varyasyonun %62,2'si ile açıklanabilmektedir. MSE değeri sıfıra yakın olduğu için istenen değerlere yakın olduğu söylenebilir. Tahmin hatalarının standart sapmasını gösteren RMSE değerinin sıfır veya sıfıra yakın olması modelin diğer modellere göre daha başarılı olduğunu göstermektedir. Bu yöntemde oluşan 0,117 değeri kabul edilebilir değer aralığındadır.

### 4.3. Çoklu Regresyon Modeli Bulguları

Çalışmada kullanılan altı bağımsız değişkenle Türkiye'de konaklama tesisine gelen Alman turist sayısı bağımlı değişkeni ile 22 gözlemlerle kurulan çoklu regresyon modeli ile Türkiye'de konaklama tesisine gelen turist sayısındaki varyasyonun %76,9'u (R2) bağımsız değişkenler tarafından açıklanmaktadır

Anova istatistik bilim dalında, grup ortalamaları ve bunlara bağlı olan işlemleri analiz etmek için kullanılan bir istatistiksel modeller koleksiyonudur (Wikipedia, 2021). Anova sonuçlarına göre modelin istatistiksel olarak anlamlı olduğu (0,000425<0.05) ve bağımsız değişkenlerin kullanılmasının uygun olduğu görülmektedir. Tablo 2'ye bakıldığında modeldeki p değerlerinden 0,05'in altında kalan bağımsız değişkenlerin Almanya nüfusu, işsizlik ve Euro/TL değerinden oluşan bağımsız değişkenlerin ve modelin sabit parametresinin anlamlı olduğu görülmektedir. Bu değişkenlerin dışında kalan Almanya enflasyonu, Almanya kişi başı GSYİH ve Almanya'nın diğer ülkelerdeki turizm harcaması değişkenleri ise anlamlı görülmemiştir (Tablo 2).

Tablo 2. Katsayı ve diğer istatistiksel bilgiler

	Katsayılar	Standart Hata	t Stat	P-değeri	Düşük %95	Yüksek %95
Kesişim	87981520	28021377	3,1398	0,006746	28255370	1,48E+08
Almanya Nüfusu	-1,07749	0,341546	-3,15473	0,006543	-1,80547	-0,3495
Almanya Enflasyonu	179224,2	317020	0,565341	0,580201	-496488	854936,4
İşsizlik	318437,2	160198,4	1,987768	0,065409	-23017,6	659891,9
Almanya Kişi başı GSYİH (\$)	169,6786	208,9091	0,812213	0,429372	-275,601	614,9578
Almanya Diğer Ülkelerdeki Turizm Harcaması (\$)	-8,5E-05	9,88E-05	-0,85855	0,4041	-0,0003	0,000126
Euro/TL Değeri	967946,7	287941,8	3,361605	0,004282	354213,3	1581680

Anlamli olmayan bu değişkenler modelden çıkarılıp tekrar çoklu regresyon modeli kurulduğunda yeni R2'nin 75.74 olduğu gözlenmiştir. Anlamli bulunmayan değişkenler modelden çıkarıldığında kurulan bu yeni modelin de istatistiksel olarak anlamli olduğu (9,05E-06 <0.05) görülmektedir.

Yeni modeldeki p değerlerine bakıldığında Tablo 3'te görüldüğü gibi hepsinin 0.05'in altında ve anlamli olduğu görülmektedir.

Tablo 3. Katsayı ve diğer istatistiksel bilgiler

	Katsayılar	Standart Hata	t Stat	P-değeri	Düşük %95	Yüksek %95	Düşük 95,0%	Yüksek 95,0%
Kesişim	89304412	17323781	5,155019	6,65E-05	52908499	1,26E+08	52908499	1,26E+08
Almanya Nüfusu	-1,08968	0,219642	-4,96117	0,000101	-1,55113	-0,62823	-1,55113	-0,62823
İşsizlik	227598,4	111914,1	2,033689	0,056995	-7524,35	462721,2	-7524,35	462721,2
Euro/TL Değeri	902684,8	181040,1	4,986103	9,57E-05	522333,6	1283036	522333,6	1283036

Bu veriler ışığında  $y=89304411,72-1,08968*Nüfus+227.598,43*İşsizlik+902.684,8*Euro$  regresyon denklemi kestirim amaçlı kullanılabilirliği tespit edilmiştir.

Dünya ekonomisinde hızla gelişen sektörlerden biri olan turizm sektörü, sahip olduğu turizm kaynaklarını en etkin şekilde kullanmak suretiyle ülkelerin ekonomik anlamda en yüksek faydayı sağlamalarını amaçlamaktadır. Artan uluslararası turizm ile rekabet edilebilirlikte fark yaratmanın önemini anlayan ülkeler, turizm alanına yapacakları yatırımlarla ekonomilerine katkı sağlamak istemektedirler. Ekonomilerdeki birçok sektörü harekete geçirmesi bakımından diğer sektörlerle göre ülkeler açısından daha önemli olan turizm sektörü, hizmet ettiği ülkede bahsedilen ekonomik katkıyı sağlayabilmek adına başlangıçta turist sayılarını belirlemek ve gerçeğe yakın tahmin ettiği bu sayıları kullanarak turizm planlamasını etkin yönetmek zorundadır. Bu yüzden turizm üzerine yönelik yapılan talep tahmini çalışmalarının doğruluğu ve başarısı hem karar vericiler hem de yöneticiler için kritik bir öneme sahiptir. Ülkeler her sene gelecek turist sayısına göre sezon açılmadan çalışan sayısını, hizmet ve ürün alımını planlamaktadır. Bu yüzden turizm sektöründe faaliyet gösteren işletmelerin etkin planlama yapabilmeleri için turist talebi sayılarını doğru tahmin etmeleri çok önemlidir. Ancak doğru ve güvenilir bir tahminleme ile sektörde yer alan tüm paydaşların konaklama, ulaştırma, taşıma gibi birçok faaliyeti yönetilebilmeleri mümkün olabilecektir.

Türkiye, turizm alanında ürün ve hizmet arzında birçok çeşitliliğe sahip, dört mevsim hizmet sunma imkânı ve zengin potansiyelleri olan bir ülke olması açısından uluslararası turizm pazarında önemli oyuncularından biridir. Türkiye'nin turizm gelirlerinin artırılması ve dünya çapında tercih edilen bir turizm lokasyonu olabilmesi ancak turist sayısını doğru tahminleyerek, doğru planlama yapması ve böylece kaynaklarını doğru yerlerde kullanması ile mümkün olacaktır.

Bu çalışmada, Türkiye'ye en çok yabancı turist gönderen ülkelerden biri olan Almanya'dan gelen turistlerin sayısını yapay sinir ağları, destek vektör regresyonu ve çoklu regresyon analizi

yöntemleri kullanılarak tahmin edilmesi ve en yüksek tahmin başarısına sahip modelin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla çalışmada 1998-2019 dönemine ait yıllık veriler kullanılmıştır. Bağımlı değişken olarak Türkiye'de konaklama tesisine gelen Alman sayısı; bağımsız değişkenler olarak da Almanya'ya ait nüfus, enflasyon, işsizlik oranı, kişi başı GSYİH, diğer ülkelerdeki turizm harcamaları ve son olarak da Euro/TL değeri kullanılan çalışmada, R2 değerleri YSA ile yapılan analiz sonucunda %95,6, DVR ile %62,2 ve çoklu regresyon analizi ile de %75,74 olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlara göre en iyi tahmin değeri sırasıyla YSA, çoklu regresyon ve DVR olmuştur. Elde edilen bu sonuçlar, Baldemir ve Bahar (2013), Çuhadar ve Kayacan'ın (2005), Güngör ve Çuhadar'ın (2005), Önder ve Hasgöl'ün (2009), Zorlutuna ve Bircan'ın (2019), Türkiye üzerine yaptıkları çalışmalar ile paralel sonuçlar sunmaktadır. Bu çalışmalarda da yapay sinir ağı öğrenme tekniği, kullanılan diğer tekniklere göre daha başarılı tahminleme gerçekleştirmiştir. Aynı zamanda Law ve Au'nun (1999) Hong-Kong için, Chen vd.'nin (2012) Tayvan için yapmış oldukları turist talebi tahmin çalışmalarında elde edilen sonuçlar, çalışmamızda elde edilen sonuçlar gibi yapay sinir ağı yöntemi ile oluşturulan modellerin tahminleme başarısını ortaya koymaktadır. Çalışmamızı bu çalışmalardan ayıran DVR tekniği ile oluşturulan modelin, tahmin performansı yüksek olmakla birlikte diğer iki yöntemle göre daha düşük bir tahmin başarısı elde etmiştir.

Bu çalışmada kullanılan verilerin sayısının artırılması, yıllık veriler yerine aylık verilerin kullanılması modellerin tahminleme performanslarını daha da artıracaktır. Yapay zekâ modellerinin turist sayısı tahminlemenin yanında Türkiye'nin etkin turizm stratejileri yönetimi için turizmle ilgili tüm kaynakların tahminlenmesi için de kullanılabilmesi söz konusudur. Böylece hem sektördeki karar vericilerin hem politika koyucuların hem de literatürün turizm planlama çalışmalarına ciddi katkı sağlayacaktır. Ayrıca çalışmanın temel konusu her ne kadar turizm sektörü olsa da ileriki çalışmalarda farklı sektörlerin talep tahminlemesi için de önerilen modelin başarılı sonuçlar vereceği düşünülmektedir.

## Kaynakça

- Abyaneh, H. Z. (2014). Evaluation of multivariate linear regression and artificial neural networks in prediction of water quality parameters. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 12(1), 1-8.
- Agatonovic-Kustrin, S., & Beresford, R. (2000). Basic concepts of artificial neural network (ANN) modeling and its application in pharmaceutical research. *Journal of pharmaceutical and biomedical analysis*, 22(5), 717-727.
- Baldemir, E., & Bahar, Ö. (2003). Türkiye'ye Yönelik Turizm Talebinin Neural (Sinerji) Ağları Modelini Kullanarak Analizi. *Gazi Üniversitesi Ticaret ve Turizm Eğitim Fakültesi Dergisi*, 2, 1-14.
- Buluk, B., & Duran, E. (2018). Analysis of Turkey's Foreign Tourism Potential with Panel Gravity Model. *Anatolia: Turizm Araştırmaları Dergisi*, 29(1).
- 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, K.-Y., & Wang, C.-H. (2007). Support vector regression with genetic algorithms in forecasting tourism demand. *Tourism Management*, 28(1), 215-226.
- Claveria, O., Monte, E., & Torra, S. (2015). A new forecasting approach for the hospitality industry. *International Journal of Contemporary Hospitality Management*.
- Çuhadar, M. (2013). Modelling and Forecasting Inbound Tourism Demand to Turkey by Mlp, Rbf And Tdnn Artificial Neural Networks: A Comparative Analysis. *Journal of Yaşar University*, 8(31), 5274-5295.
- Çuhadar, M. (2014). Modelling and Forecasting Inbound Tourism Demand to Muğla for Years 2012-2013. *Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi*(12).
- Çuhadar, M. (2020). Türkiye'nin dış aktif turizm gelirlerinin alternatif yaklaşımlarla modellenmesi ve tahmini. *Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi Turizm Fakültesi Dergisi*, 23(1), 115-141.
- Çuhadar, M., & Kayacan, C. (2005). Yapay Sinir Ağları Kullanılarak Konaklama İşletmelerinde Doluluk Oranı Tahmini: Türkiye'deki Konaklama İşletmeleri Üzerine Bir Deneme. *Anatolia: Turizm Araştırmaları Dergisi*, 16(1), 24-30.
- Emir, G. (2010). Doğu Karadeniz Bölgesine olan turistik talebin ekonometrik bir yaklaşımla tahmini. Paper presented at the Uluslararası Doğu Karadeniz Turizm Sempozyumu.
- Erilli, N. A. (2015). İstatistik-2. Ankara, Turkey: Seçkin Yayıncılık
- Ertek, T., Altınay, M., & Bıçak, H. A. (2002). Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti'ne Yönelik Turizm Talebi. *Anatolia: Turizm Araştırmaları Dergisi*, 13(2), 117-128.
- Goh, C., & Law, R. (2011). The methodological progress of tourism demand forecasting: a review of related literature. *Journal of Travel & Tourism Marketing*, 28(3), 296-317.
- Güngör, İ., & Çuhadar, M. (2005). Antalya İline Yönelik Alman Turist Talebinin Yapay Sinir Ağları Yöntemiyle Tahmini. *e-ISSN: 2148-2683*
- Gazi Üniversitesi Ticaret ve Turizm Eğitim Fakültesi Dergisi (1), 84-98.
- Hesamian, G., & Akbari, M. G. (2021). A robust multiple regression model based on fuzzy random variables. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 388, 113270.
- Hsu, C.-W., & Lin, C.-J. (2002). A comparison of methods for multiclass support vector machines. *IEEE transactions on Neural Networks*, 13(2), 415-425.
- Kara, O., Çömlekçi, İ., & Kaya, V. (2012). The Relation of Tourism Revenues and Various Macroeconomic Indicators: The Case of Turkey (1992-2011). *International Journal of Economic & Social Research*, 8(1).
- Karabulut, R., & Şeker, K. (2018). Effects On Determined Variants On Tax Revenues: Multiple Linear Regression Analysis. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 23(3), 1049-1070.
- Karaca, C., & Karacan, H. (2016). Investigation of Factors Affecting Demand For Electricity Consumption With Multiple Regression Method. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 4(3), 182-195.
- Karagöz, K. (2008). Türkiye'nin Turizm Potansiyeli: Çekim Modeli Yaklaşımı. *Anatolia: Turizm Araştırmaları Dergisi*, 19(2), 149-156.
- Karahan, M. (2015). Turizm talebinin yapay sinir ağları yöntemiyle tahmin edilmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 20(2), 195-209.
- Karal, Ö. (2018). Compression of ECG data by support vector regression method. *J. Fac. Eng. Arch. Gazi Univ*, 1, 743-756.
- Kayakuş, M. (2021). Yazılım Çaba Tahmininde Yapay Sinir Ağları İçin Optimum Yapının Belirlenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (22), 43-48.
- Kayakuş, M., & Terzioğlu, M. (2021). Yapay Sinir Ağları ve Çoklu Doğrusal Regresyon Kullanarak Emeklilik Fonu Net Varlık Değerlerinin Tahmin Edilmesi. *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 14(1), 95-103.
- Keskin, H. İ. (2019). Türkiye'nin turizm talebinin tahmininde görünürde ilişkisiz regresyon modelinin kullanılması. *Journal of Tourism Theory and Research*, 5(2), 182-190.
- Khaidi, S. M., Abu, N., & Muhammad, N. (2019). Tourism demand forecasting—a review on the variables and models. Paper presented at the *Journal of Physics: Conference Series*.
- Law, R. (2000). Back-propagation learning in improving the accuracy of neural network-based tourism demand forecasting. *Tourism Management*, 21(4), 331-340.
- Law, R., & Au, N. (1999). A neural network model to forecast Japanese demand for travel to Hong Kong. *Tourism Management*, 20(1), 89-97.
- Law, R., Li, G., Fong, D. K. C., & Han, X. (2019). Tourism demand forecasting: A deep learning approach. *Annals of tourism research*, 75, 410-423.
- Li, G., Song, H., & Witt, S. F. (2005). Recent developments in econometric modeling and forecasting. *Journal of Travel Research*, 44(1), 82-99.

- Liu, D., Yuan, Y., & Liao, S. (2009). Artificial neural network vs. nonlinear regression for gold content estimation in pyrometallurgy. *Expert Systems with Applications*, 36(7), 10397-10400.
- Maaouane, M., Zouggar, S., Krajačić, G., & Zahboune, H. (2021). Modelling industry energy demand using multiple linear regression analysis based on consumed quantity of goods. *Energy*, 225, 120270.
- Montgomery, D. C., Peck, E. A., & Vining, G. G. (2021). *Introduction to linear regression analysis*: John Wiley & Sons.
- Önder, E., & Hasgül Kuvat, Ö. (2009). Yabancı ziyaretçi sayısının tahmininde box jenkins modeli, winters yöntemi ve yapay sinir ağlarıyla zaman serisi analizi (time series analysis with using box jenkins models and artificial neural network for forecasting number of foreign visitors). *Istanbul University, Business Economy Institute Journal of Management*, 62, 62-83.
- Rencher, A. C., & Schaalje, G. B. (2008). *Linear models in statistics*: John Wiley & Sons.
- Shalab, S. (2013). Multiple linear regression model. In *Regression analysis*. Kanpur, India.: Lecture notes, Department of Mathematics & Statistics, Indian Institute of Technology.
- Smola, A. J., & Schölkopf, B. (2004). A tutorial on support vector regression. *Statistics and computing*, 14(3), 199-222.
- Song, H., & Li, G. (2008). Tourism demand modelling and forecasting—A review of recent research. *Tourism Management*, 29(2), 203-220.
- Teixeira, J. P., & Fernandes, P. O. (2012). Tourism time series forecast-different ANN architectures with time index input. *Procedia Technology*, 5, 445-454.
- Tranmer, M., & Elliot, M. (2008). Multiple linear regression. *The Cathie Marsh Centre for Census and Survey Research (CCSR)*, 5(5), 1-5.
- Uyanık, G. K., & Güler, N. (2013). A study on multiple linear regression analysis. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 106, 234-240.
- Vapnik, V. (2013). *The nature of statistical learning theory*: Springer science & business media.
- Wang, L., Wu, B., Zhu, Q., & Zeng, Y.-R. (2020). Forecasting Monthly Tourism Demand Using Enhanced Backpropagation Neural Network. *Neural Processing Letters*, 52(3), 2607-2636.
- Wikipedia. (2021). Varyans analizi. Retrieved from [tr.wikipedia.org/w/index.php?title=Varyans\\_analizi&oldid=25111430](https://tr.wikipedia.org/w/index.php?title=Varyans_analizi&oldid=25111430)
- Wu, D. C., Song, H., & Shen, S. (2017). New developments in tourism and hotel demand modeling and forecasting. *International Journal of Contemporary Hospitality Management*.
- Wu, W.-W. (2011). Beyond Travel & Tourism competitiveness ranking using DEA, GST, ANN and Borda count. *Expert Systems with Applications*, 38(10), 12974-12982.
- Zhang, Y., Li, G., Muskat, B., & Law, R. (2021). Tourism demand forecasting: A decomposed deep learning approach. *Journal of Travel Research*, 60(5), 981-997.
- Zorlutuna, Ş., & Bircan, H. (2019). Türkiye'ye gelen turist sayısı tahmininde zaman serileri analizi ve yapay sinir ağları yöntemlerinin karşılaştırılması. *S.C.Ü. İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 20(2), 1-22.
- Zortuk, M., & Bayrak, S. (2013). Seçilmiş ülkelere göre Türkiye'nin turizm talebi. *Istanbul University Econometrics and Statistics e-Journal* (19), 38-58



# Optimization of a Reverse-Phase High Performance Liquid Chromatography (RP-HPLC) Method for Simultaneous Separation of Aloe-Emodin, Rhein, Emodin, Chrysophanol and Physcion

Gizem Yıldırım Baştemur<sup>1,2,\*</sup>, Reyhan Akpınar<sup>3</sup>, Sabriye Perçin Özkorucuklu<sup>4</sup>, Esengül Kır<sup>5</sup>

<sup>1\*</sup> Süleyman Demirel University, Institute of Graduate Studies in Sciences, Programme of Chemistry, Isparta, Turkey, (ORCID: 0000-0002-4634-4525), gizemyildirimbastemur@istanbul.edu.tr

<sup>2</sup> Istanbul University, Faculty of Science, Department of Molecular Biology and Genetics, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0002-4634-4525), gizemyildirimbastemur@istanbul.edu.tr

<sup>3</sup> Istanbul University, Institute of Graduate Studies in Sciences, Programme of Molecular Biotechnology and Genetics, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0001-5910-4160), reyhanakpnr1@gmail.com

<sup>4</sup> Istanbul University, Faculty of Science, Department of Molecular Biology and Genetics, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0001-9778-2034), sabriyeo@istanbul.edu.tr

<sup>5</sup> Süleyman Demirel University, Faculty of Art and Science, Department of Chemistry, Isparta, Turkey, (ORCID: 0000-0002-6641-3444), esengulkir@sdu.edu.tr

(First received 26 August 2021 and in final form 28 November 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.987628)

**ATIF/REFERENCE:** Yıldırım Baştemur, G., Akpınar, R., Perçin Özkorucuklu, S. & Kır, Esengül. (2021). Optimization of a Reverse-Phase High Performance Liquid Chromatography (RP-HPLC) Method for Simultaneous Separation of Aloe-Emodin, Rhein, Emodin, Chrysophanol and Physcion. *European Journal of Science and Technology*, (27), 972-984.

## Abstract

In this study, a reverse-phase high performance liquid chromatography (RP-HPLC) method with high separation efficiency, high detection sensitivity and excellent selectivity was successfully developed for the simultaneous determination of the aloe-emodin, rhein, emodin, chrysophanol, and physcion compounds. These optimum method conditions were determined by studying various columns, mobile phases and compositions, flow rates and column temperatures. The successful separation was carried out with a Supelcosil LC-18 column (250 × 4.6 mm, 5 µm) and a gradient program. The procedure was carried out at 20 °C with the flow rate of 1.0 mL/min. and the injection volume of 20 µL utilizing an RP-HPLC method with DAD detector at 225 nm. Deionized water containing 0.5% (v/v) orthophosphoric acid and methanol was used as the mobile phases A and B. This study showed an optimized analytical method can be effectively utilized to the qualitative determination of anthraquinone compounds.

**Keywords:** Reverse Phase High Performance Liquid Chromatography, Anthraquinon, Secondary Metabolites, Method Optimization.

## Aloe-Emodin, Rhein, Emodin, Chrysophanol ve Physcion'un Eş Zamanlı Ayrımı için Ters Fazlı Yüksek Performanslı Sıvı Kromatografisi (RP-HPLC) Yönteminin Optimizasyonu

### Öz

Bu çalışmada, aloe-emodin, rhein, emodin, chrysophanol ve physcion bileşiklerinin eş zamanlı tayini için yüksek ayırma verimliliğine, yüksek saptama hassasiyetine ve üstün seçiciliğe sahip bir ters fazlı yüksek performanslı sıvı kromatografisi (RP-HPLC) yöntemi başarıyla geliştirilmiştir. Optimum yöntem koşulları, çeşitli kolonlar, mobil fazlar ve bileşimleri, akış hızları ve kolon sıcaklıkları çalışılarak belirlenmiştir. Ayırma, Supelcosil LC-18 kolonu (250 x 4.6 mm, 5 µm) ile gradient programda gerçekleştirilmiştir. Prosedür 20 °C'de, 1,0 mL/dk akış hızı ve 20 µL enjeksiyon hacmi ile 225 nm'de DAD dedektörlü bir RP-HPLC yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Mobil faz A ve B olarak %0,5 (v/v) ortofosforik asit içeren deiyonize su ve metanol kullanılmıştır. Bu çalışma, antrakinon bileşiklerinin kalitatif tayini için optimize edilmiş bir analitik yöntemin etkin bir şekilde kullanılabileceğini göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Yüksek Performans Sıvı Kromatografisi, Antrakinon, Sekonder Metabolitler, Metot Optimizasyonu.

\* Corresponding Author: gizemyildirimbastemur@istanbul.edu.tr

## 1. Introduction

The secondary metabolites are distributed in the plant family in various ways, and their biological functions are specific to the generating plants in which they are ascertained (Wolfender et al., 2015). The natural anthraquinones are the valuable part of the secondary metabolites naturally found in Polygonaceae, Leguminosae, Rubiaceae, Liliaceae and Rhamnaceae (Yao et al., 2004). The natural anthraquinones are interesting due to wide-ranging applications, and bioactive properties like anticancer (Koyama et al., 2002; Su et al., 2005; Chen et al., 2007), anti-inflammatory, antifungal (Agarwal et al., 2000), antimicrobial (Yanwen et al., 2005), diuretic, cathartic, laxative, vasorelaxing, antioxidant (Yen et al., 2000; Iizuka et al., 2004) and phytoestrogen activities (Chien et al., 2015; Locatelli, 2011; Reynolds, 2004). For the typical example; aloe-emodin and chrysophanol were found to possess anti-micro bacterial activities (Smolarz et al., 2013). It has also been discovered that emodin, aloe-emodin and rhein naturally possess antitumor activities, anti-inflammatory and antiviral effects (Li-Weber, 2013). The rhein exhibit many biological properties, especially immunosuppressive, antiinflammatory, antitumor, anticancer (You et al., 2013). Additionally, the physcion remains a potential candidate in the field of anticancer drug discovery against human cervical cancer (Wijesekara et al., 2014).

There are various analytical methods used for the qualitative or the quantitative analysis of the anthraquinones like the High Performance Liquid Chromatography (HPLC) (Zhang&Shi, 2010; Koyama et al., 2007; Zhang et al., 2013; Tian et al., 2012; Mandrioli et al., 2011) the Ultra-Performance Liquid Chromatography (UPLC) (Wang&Shi, 2014; Hu et al., 2014), the Capillary Cone Electrophoresis (CZE) (Tian et al., 2007; Wang et al., 2004), the Micellar Electrokinetic Chromatography (MEC) (Kuo&Su, 2003; Shang&Yuan, 2003; Sun&Yeh, 2005), the Capillary ElectroChromatography (CEC) (Lü et al., 2007), the Thin Layer Chromatography (TLC) (Singh et al., 2005), the High-Speed Counter Current Chromatography (HSCCC) (Guo et al., 2011), the Cyclic Voltammetry (Wang et al., 2010) and the Supercritical Fluid Chromatography (Aichner&Ganzera, 2015) but are not sensitive enough. There are also extremely sensitive and reliable methods utilized with the HPLC-MS (Xu et al., 2008) and the GC-MS (ElSohly et al., 2004; Zuo et al., 2008) available but these sophisticated devices are expensive, which limits their usability. Among all these methods, an HPLC with various detection systems offers high selectivity, sensitivity and separation efficiency with short analysis time.

The aim of this study was to develop a straightforward, rapid and highly sensitive method for the simultaneous separation of aloe-emodin, rhein, emodin, chrysophanol and physcion using diode array detector RP-HPLC. An effective separation of the five compounds of the similar chemical structure in only fifteen minutes was achieved with the developed method which also facilitates elucidation and quantification of the structure of natural anthraquinones in plants.

## 2. Material and Method

### 2.1. Chemicals

All solvents (methanol, orthophosphoric acid), diclofenac (internal standard), uracil ( $t_0$ ) and standard compounds (aloe-emodin, rhein, emodin, chrysophanol and physcion) were obtained from Sigma-Aldrich. All chemicals used were HPLC grade and water was purified in a Milli-Q water purification system (Millipore, Bedford, MA, USA).

### 2.2. Instruments and Conditions

A Shimadzu HPLC system composed of a LC-10AD VP pump, SIL-30AC autosampler, a CTO-10AS column oven, a DGU-20A degasser and a SPD-M20A diode array detector (DAD) was utilized for chromatographic studies. The Supelcosil LC-18, the Mediterranean Sea 18 and the Cogent Phenyl Hydride columns used had the dimensions of a 25 cm × 4.6 mm, 5 μm, a 15 cm × 4.6 mm, 5 μm and a 25 cm × 4.6 mm, 4 μm, respectively. The gradient program was utilized for the chromatographic separation. The deionized water containing 0.5% (v/v) orthophosphoric acid was used as the mobile phase A; the methanol was used as the mobile phase B. The time-volume changes in the gradient program were as follows: 0-2 min., 0-70% B; 2-4 min., 70-75% B; 4-6 min., 75-80% B; 6-8 min., 80-85% B; 8-10 min., 85-90% B; 10-12 min., 90% B; 12-14 min., 90-85% B; 14-16 min., 85-80% B; and 16-18 min., 80-70% B. The total injection time was 20 minutes with the injection volume of 20 μL. The optimum column temperature was at the 20 °C, the flow rate was at a 1.0 mL/min and the DAD detector was set at 225 nm.

### 2.3. Preparation of Stock Solution

The stock solutions of 250 μg/mL were traditionally prepared by dissolving the standard compounds (aloe-emodin, emodin, rhein, chrysophanol and physcion) in the methanol and properly storing at 4 °C. The dilutions were carefully made in methanol at the effective concentration determined for each compound from the stock solutions and required injections were made.

Internal standard was intentionally employed in the method optimization. This standard method adequately compensates the possible errors for pipetting and injection volumes, and also likely changes in the physical parameters during pretreatment or preparation steps. If the internal standard is determined appropriately, both the systematic and the random errors can be eliminated. However, the chemical and physical properties of the internal standard should be similar to those under the study. The diclofenac was intentionally chosen as the internal standard in our study. Even though the chemical structure of the diclofenac is not similar to the compounds studied in terms of the selectivity, peak acuity, resolution and analysis time, it was decided that the diclofenac would be suitable as an internal standard. The diclofenac solution (I.S) was dissolved in methanol to carefully prepare 20 μg/mL solution.

The uracil solution of 20 μg/mL prepared in methanol was chosen as the dead time ( $t_0$ ) to determine the capacity factors. The average retention time of the uracil was precisely determined with three injections without holding in the HPLC column. The standards, diclofenac, uracil solutions and mobile phases were filtered by a 0.45 μm pour size membrane filter.

### 3. Results and Discussion

#### 3.1. Method Optimization

The most essential criteria for method development in chromatography systems can be listed as the analysis of the compounds in the shortest time possible, ensuring a good separation and obtaining symmetrical peaks. In providing these criteria; the actors like the chemical structure, the diameter and the length of the columns, the wavelength of compounds, the injection volume, the mobile phase composition, the flow rate and the column temperature have to be studied carefully. These criteria were taken into consideration in method optimization during the method development process to simultaneously determine the aloec-emodin, rhein, emodin, chrysophanol and physicon compounds.

The most properly used test for the optimization of RP chromatography is the resolution between peak pairs. Achieving a good resolution between all of the compounds under study is the main goal of chromatographic separation. On account of

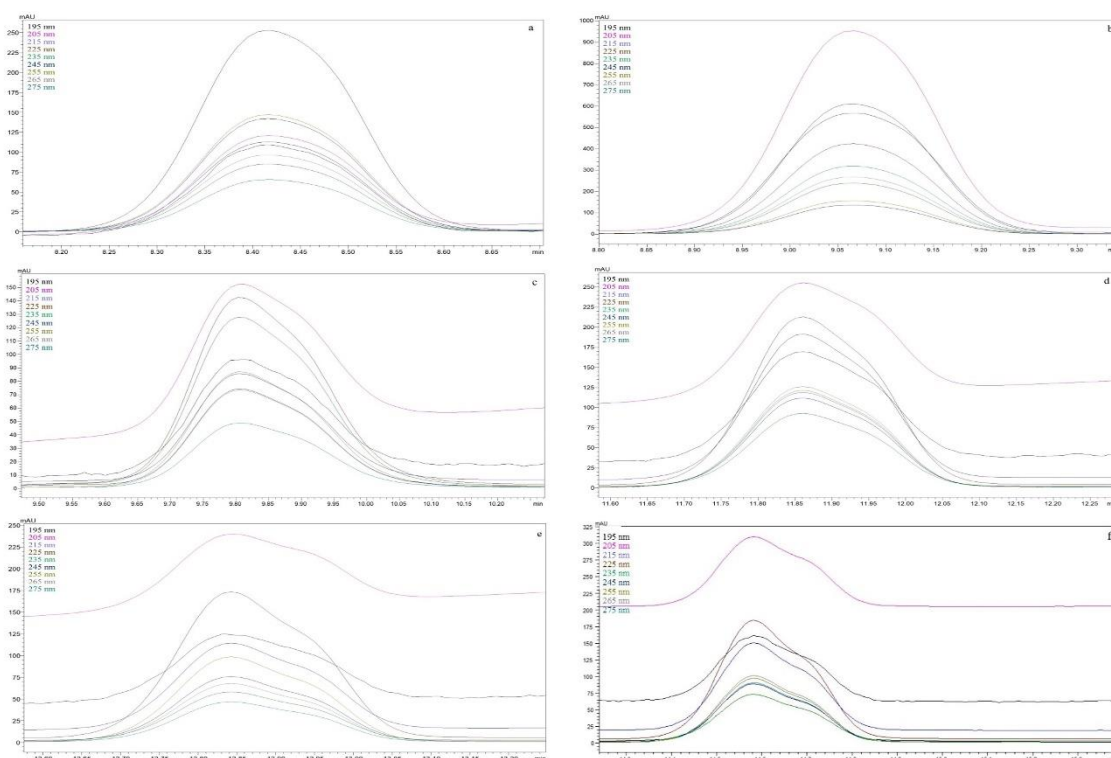
fundamental chromatographic parameters, the resolution,  $R_s$ , is affected by three independent variables:

$$R_s = (1/4) \sqrt{N} [(\alpha-1)/\alpha] [k_2/(k_2-1)] \quad \text{Eq. (1)}$$

In general, for the separation to take place; the capacity factor ( $k$ ) must be greater than 1, the selectivity factor ( $\alpha$ ) greater than 1.15, and the resolution ( $R_s$ ) values must be greater than 1.5. For all optimization parameters  $R_s$  values were calculated for all peak pairs according to Eq. (1).

#### Wavelength

The wavelengths at which the compounds in this study have the highest absorbance were determined properly using a DAD detector. The spectral scan graphs obtained are given in the Figure 1. It is clearly seen from the Figure 1 that all the compounds studied had a maximum absorbance at 225 nm. For the diclofenac (I.S) used as internal standard, the maximum absorbance wavelength of 205 nm was chosen (Figure 1b).



**Figure 1.**  $\lambda_{max}$  values of the compounds obtained by using DAD detector (a-Aloe-emodin, b-I.S c-Rhein, d-Emodin, e-Chrysophanol, f-Physicon)

In the literature, the following wavelength results in the quantitative determination studies of aloec-emodin, rhein, emodin, chrysophanol and physicon were reported: Uzun and Demirezer (Uzun&Demirezer, 2019) at 440 nm (DAD detector), Liu et al., (Liu et al., 1997) at 280 and 450 nm (DAD detector), Gautam et al. (Gautam et al., 2011), Farooq et al., (Farooq et al., 2013) and

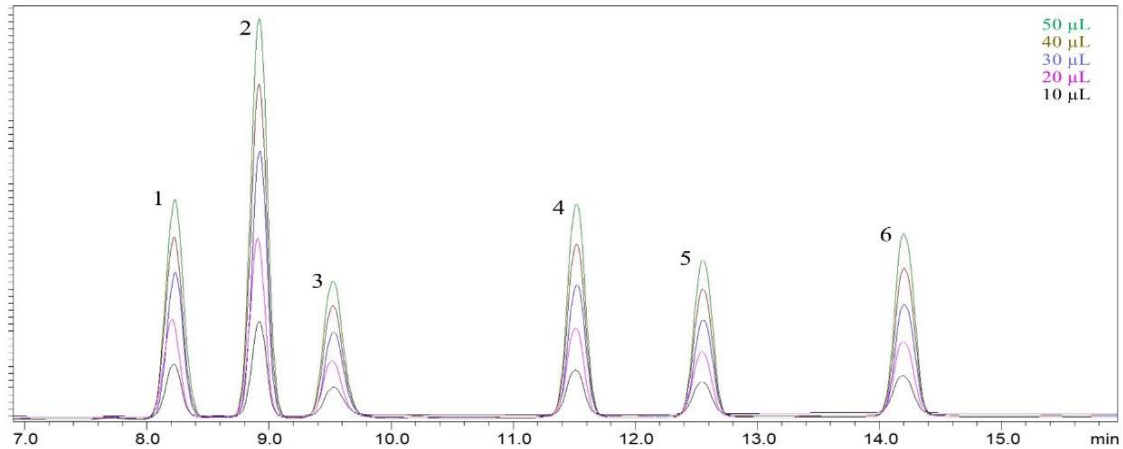
Mehta (Mehta, 2012) at 254 nm (DAD and UV detector) with a HPLC.

#### Injection volume

Injection of all six compounds with five different injection volumes (10  $\mu$ L, 20  $\mu$ L, 30  $\mu$ L, 40  $\mu$ L and 50  $\mu$ L) were conducted for the determination of the optimum injection volume. The



chromatograms in the Figure 2 were obtained which shows that the peak shapes do not change with the different injection volumes. Therefore, a 20  $\mu\text{L}$  injection volume was chosen as the optimum value to minimize material losses.

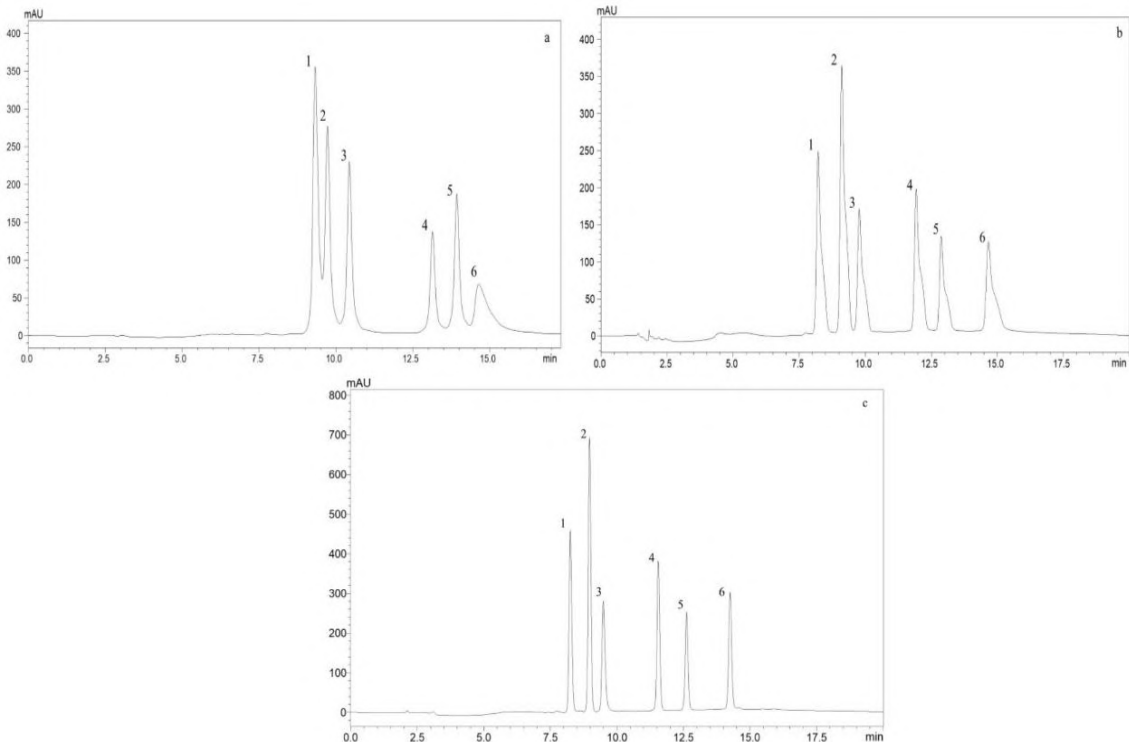


**Figure 2.** The standard mixture chromatograms obtained from different injection volumes of the compounds (1-Aloe-emodin, 2-I.S 3-Rhein, 4-Emodin, 5-Chrysophanol, 6-Physicon)

### Column selection

The column length and the column filler particle sizes are also important parameters for effective separation in the chromatography. Therefore, three different columns with different dimensions and particle sizes (Mediterranea Sea 18 (150 mm  $\times$  4.6mm, 5 $\mu\text{m}$ ), Cogent Phenyl Hydride (250 mm  $\times$  4.6mm, 4 $\mu\text{m}$ ) and Supelcosil LC-18 (250 mm  $\times$  4.6mm, 5 $\mu\text{m}$ )) were studied. While dimensions of the Cogent Phenyl Hydride and Supelcosil LC-18 columns are the same, the dimensions of the Mediterranea Sea 18 is different. In addition, the particle sizes of the the Cogent Phenyl Hydride and Supelcosil LC-18 columns were chosen

differently from each other. The results obtained with three different columns are given in the Table 1. The resolution ( $R_s$ ) values below 1.5 were obtained for I.S-Aloe-emodin and Physcion-Chrysophanol peak pairs in the Cogent Phenyl Hydride column and as clearly seen from the Figure 3a, these peaks were not separated effectively. The  $R_s$  values calculated in the Supelcosil LC-18 column were higher than those in the Mediterranea Sea 18 column. In addition, high peaks were obtained with the the Mediterranea Sea 18 column, but the shapes of these peaks are not very good (Figure 3b). As seen in Figure 3c, the best separation and peak shapes were obtained with Supelcosil LC-18 column and thus, it was decided to conduct the study with this column.



**Figure 3.** The standard mixture chromatograms of the compounds obtained (1-Aloe-emodin, 2-I.S 3-Rhein, 4-Emodin, 5-Chrysophanol, 6-Physcion) in different columns a) Cogent Phenyl Hydride, b) Mediterranean Sea 18 c) Supelcosil LC-18

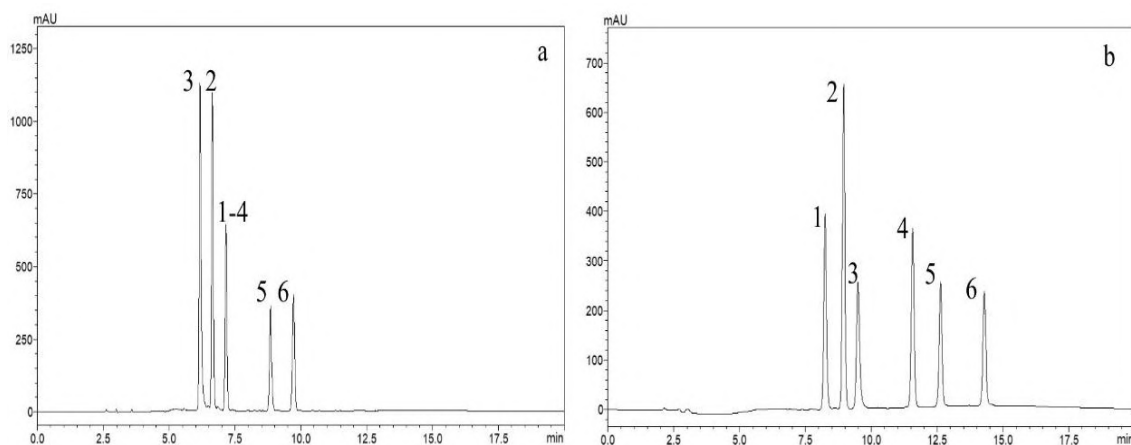
**Table 1.** Comparison of the values obtained for all the compounds in the different columns

Column	Compounds	$k_2$	$\alpha$	$k_2/(k_2+1)$	$(\alpha-1)/\alpha$	$(1/4)\sqrt{N}$	$R_s$
Cogent Phenyl Hydride	I.S/Aloe-emodin	2.142	1.065	0.682	0.061	30.656	1.275
	Rhein/I.S	2.371	1.107	0.703	0.097	35.221	2.402
	Emodin/ Rhein	3.246	1.369	0.764	0.270	43.575	8.989
	Chrysophanol/Emodin	3.501	1.079	0.778	0.073	45.326	2.574
	Physcion/Chrysophanol	3.734	1.067	0.789	0.063	18.062	0.898
Mediterranea Sea 18	I.S/Aloe-emodin	2.633	1.221	0.725	0.181	30.214	3.965
	Rhein/I.S	2.900	1.101	0.744	0.092	30.649	2.098
	Emodin/ Rhein	3.761	1.297	0.790	0.229	38.024	6.879
	Chrysophanol/Emodin	4.140	1.101	0.805	0.092	41.650	3.085
	Physcion/Chrysophanol	4.854	1.172	0.829	0.147	34.529	4.208
Supelcosil LC-18	I.S/Aloe-emodin	1.916	1.137	0.657	0.120	46.727	3.684
	Rhein/I.S	2.076	1.083	0.675	0.077	42.567	2.212
	Emodin/ Rhein	2.743	1.321	0.733	0.243	55.438	9.875
	Chrysophanol/Emodin	3.093	1.128	0.756	0.113	60.449	5.164
	Physcion/Chrysophanol	3.621	1.171	0.784	0.146	64.903	7.429

In a study by VanMen et al., (VanMen et al., 2012), a 25 cm long Optimapak C18 column was used where the retention times of approximately 29 and 31 minutes were determined for the emodin and the chrysophanol, respectively. Another study by Mehta (Mehta, 2012) with a 25 cm long C18 column reported the retention times of 10.75 for the rhein and 16.31 minutes for the emodin. Similar studies were carried out by Zou et al., (Zou et al., 2008) in a 15 cm long Phenyl-Hexyl column and Shi et al., (Shi et al., 2014) in a 25 cm long Diamonsil C18 column and the same retention times for aloe-emodin, rhein, emodin, chrysophanol and physcion were found with the results obtained in our study with 25 cm long Supelcosil C18 column.

**Mobile phase**

The methanol and the acetonitrile were studied to determine the mobile phase B composition and the data obtained were compared. As seen in the Figure 4a, the retention times of the compounds are shorter in the acetonitrile phase than in the methanol phase, but the separation could not be achieved since the aloe-emodin and the emodin compounds arrived at the same retention time. However, the separation of all compounds in the methanol was achieved (Figure 4b) and symmetrical peaks were obtained. As a result, the B mobile phase was determined to be methanol and the data obtained are given in Table 2.



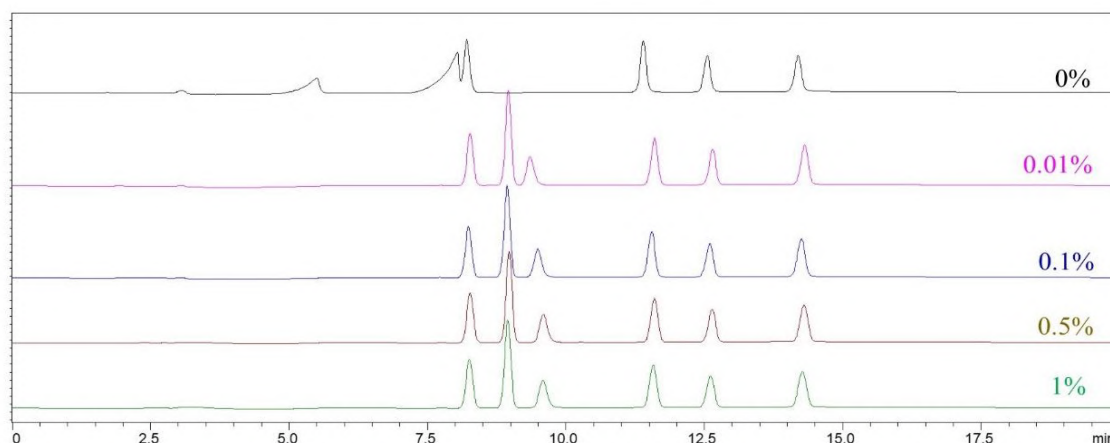
**Figure 4.** Standard mixture chromatograms of the different compounds (1-Aloe-emodin, 2-I.S 3-Rhein, 4-Emodin, 5-Chrysophanol, 6-Physcion) obtained in a) Acetonitrile b) Methanol

**Table 2.** Values obtained for the methanol as the mobile phase B

Mobile Phase B	Compounds	$k_2$	$\alpha$	$k_2/(k_2+1)$	$(\alpha-1)/\alpha$	$(1/4)\sqrt{N}$	$R_s$
Methanol	I.S/Aloe-emodin	1.901	1.134	0.655	0.118	46.152	3.567
	Rhein/I.S	2.076	1.092	0.675	0.084	41.954	2.379
	Emodin/Rhein	2.747	1.323	0.733	0.244	55.008	9.838
	Chrysophanol/Emodin	3.091	1.125	0.756	0.111	60.071	5.041
	Physcion/Chrysophanol	3.626	1.173	0.784	0.147	62.699	7.226

In the gradient studies conducted in the literature, acetonitrile-water (Wang et al., 2013; Gao et al., 2009; Rafaely et al., 2008) and the methanol-water (Uzun&Demirezer, 2019; Gautam et al., 2011; Wang et al., 2016) mobile phases are used. In this study, both mobile phases were studied, but the separation of the compounds could not be achieved in the acetonitrile mobile

phase. In the experiments, five different ratios of the orthophosphoric acid-deionized water mixture (0.0% -0.01% - 0.1% -0.5% -1.0%) were studied as the mobile phase A composition and the chromatograms obtained are given in the Figure 5.



**Figure 5.** Standard mixture chromatograms of the compounds obtained in the 0.0% -0.01% -0.1% -0.5% -1.0% orthophosphoric acid-water

The data obtained as a result of the optimization of the mobile phase A composition are given in the Table 3. The  $R_s$  value for Rhein-IS in the 0.0% orthophosphoric acid-water mixture is 0.848 and these two peaks are not separated (Figure 5). However, the

data show that the  $R_s$  values of the Rhein-IS peak pair increased with increasing orthophosphoric acid-water ratio and reached a maximum value of 2.227 for 0.5% orthophosphoric acid-water and remained constant at 1% orthophosphoric acid-water.

**Table 3.** Comparison of values obtained for mobile phase A composition optimization

Mobile Phase A	Compounds	$k_2$	$\alpha$	$k_2/(k_2+1)$	$(\alpha-1)/\alpha$	$(1/4)\sqrt{N}$	$R_s$
0.0%	I.S/Aloe-emodin	1.714	2.002	0.632	0.500	10.560	3.337
	Rhein/I.S	1.776	1.036	0.640	0.035	37.856	0.848
	Emodin/ Rhein	2.855	1.603	0.741	0.376	52.337	14.582
	Chrysophanol/Emodin	3.243	1.137	0.764	0.120	53.878	4.940
	Physcion/Chrysophanol	3.802	1.171	0.792	0.146	57.527	6.652
0.01%	I.S/Aloe-emodin	1.910	1.134	0.656	0.118	42.071	3.257

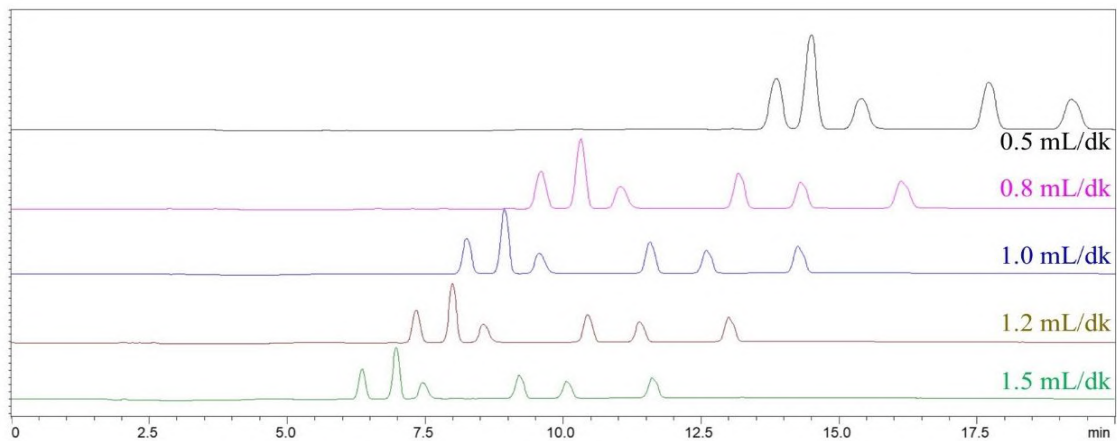
	Rhein/I.S	2.039	1.068	0.671	0.064	35.969	1.545
	Emodin/ Rhein	2.769	1.358	0.735	0.264	49.089	9.525
	Chrysophanol/Emodin	3.111	1.124	0.757	0.110	52.524	4.374
	Physcion/Chrysophanol	3.652	1.174	0.785	0.148	54.959	6.385
<b>0.1%</b>	I.S/Aloe-emodin	1.929	1.135	0.659	0.119	40.547	3.180
	Rhein/I.S	2.112	1.095	0.679	0.087	35.051	2.071
	Emodin/ Rhein	2.789	1.321	0.736	0.243	46.793	8.369
	Chrysophanol/Emodin	3.132	1.123	0.758	0.110	49.586	4.134
	Physcion/Chrysophanol	3.676	1.174	0.786	0.148	52.479	6.105
<b>0.5%</b>	I.S/Aloe-emodin	1.888	1.137	0.654	0.120	40.086	3.146
	Rhein/I.S	2.086	1.105	0.676	0.095	34.681	2.227
	Emodin/ Rhein	2.734	1.311	0.732	0.237	45.557	7.903
	Chrysophanol/Emodin	3.070	1.123	0.754	0.110	48.225	4.000
	Physcion/Chrysophanol	3.604	1.174	0.783	0.148	50.603	5.864
<b>1.0%</b>	I.S/Aloe-emodin	1.927	1.134	0.658	0.118	38.738	3.008
	Rhein/I.S	2.135	1.108	0.681	0.097	33.722	2.227
	Emodin/ Rhein	2.786	1.305	0.736	0.234	44.035	7.584
	Chrysophanol/Emodin	3.126	1.122	0.758	0.109	46.448	3.838
	Physcion/Chrysophanol	3.669	1.174	0.786	0.148	48.941	5.593

In earlier studies, separation of the compounds was carried out using 0.01% phosphoric acid-water (Zou et al., 2008), 0.1% phosphoric acid-water (Wei et al., 2013) and 0.05% phosphoric acid-water (Uzun&Demirezer, 2019) as the mobile phase composition. According to the data obtained in our study, 0.5% phosphoric acid-water was chosen to use as the mobile phase A composition.

### Flow rate

In HPLC studies, a fast separation of the compounds is preferred so it is undesirable to have the flow rate to be below a certain

value. Therefore, five different flow rates (1.5 mL/min, 1.2 mL/min, 1.0 mL/min, 0.8 mL/min and 0.5 mL/min) tested for the optimum flow rate value. The data obtained data are given in Table 4 and the chromatograms in Figure 6. The Table 4 clearly shows that the lower the flow rate, the slower the compounds leave the column and consequently the retention times in the column increase. Figure 6 shows that the retention times of the compounds increase at a flow rate of 0.5 mL/min and the physcion peak does not leave the column during the method period. Therefore, the flow rate of 0.5 mL/min was not included in the calculations.



**Figure 6.** Standard mixture chromatograms of compounds obtained at flow rates of 1.5 mL/min, 1.2 mL/min, 1.0 mL/min, 0.8 mL/min and 0.5 mL/min

**Table 4.** Comparison of values obtained for flow rate optimization

Flow rate (mL/min)	Compounds	$k_2$	$\alpha$	$k_2/(k_2+1)$	$(\alpha-1)/\alpha$	$(1/4)\sqrt{N}$	$R_s$
0.8 mL/min	I.S/Aloe-emodin	1.678	1.124	0.627	0.110	32.576	2.247
	Rhein/I.S	1.864	1.110	0.651	0.099	28.303	1.824
	Emodin/ Rhein	2.419	1.297	0.708	0.229	37.775	6.125
	Chrysophanol/Emodin	2.710	1.120	0.730	0.107	39.745	3.104
	Physcion/Chrysophanol	3.183	1.175	0.761	0.149	37.524	4.255
1.0 mL/min	I.S/Aloe-emodin	1.883	1.133	0.653	0.117	32.632	2.493
	Rhein/I.S	2.086	1.108	0.676	0.097	29.275	1.920
	Emodin/ Rhein	2.734	1.311	0.732	0.237	36.529	6.337
	Chrysophanol/Emodin	3.064	1.121	0.754	0.108	38.213	3.112
	Physcion/Chrysophanol	3.599	1.175	0.783	0.149	40.324	4.704
1.2 mL/min	I.S/Aloe-emodin	2.100	1.133	0.677	0.117	31.409	2.488
	Rhein/I.S	2.317	1.103	0.699	0.093	26.581	1.728
	Emodin/ Rhein	3.050	1.316	0.753	0.240	34.641	6.260
	Chrysophanol/Emodin	3.415	1.120	0.773	0.107	36.375	3.009
	Physcion/Chrysophanol	4.042	1.184	0.802	0.155	40.384	5.020
1.5 mL/min	I.S/Aloe-emodin	2.416	1.144	0.707	0.126	29.956	2.669
	Rhein/I.S	2.652	1.098	0.726	0.089	25.583	1.653
	Emodin/ Rhein	3.510	1.324	0.778	0.245	32.153	6.129
	Chrysophanol/Emodin	3.930	1.120	0.797	0.107	33.930	2.894
	Physcion/Chrysophanol	4.695	1.195	0.824	0.163	37.541	5.042

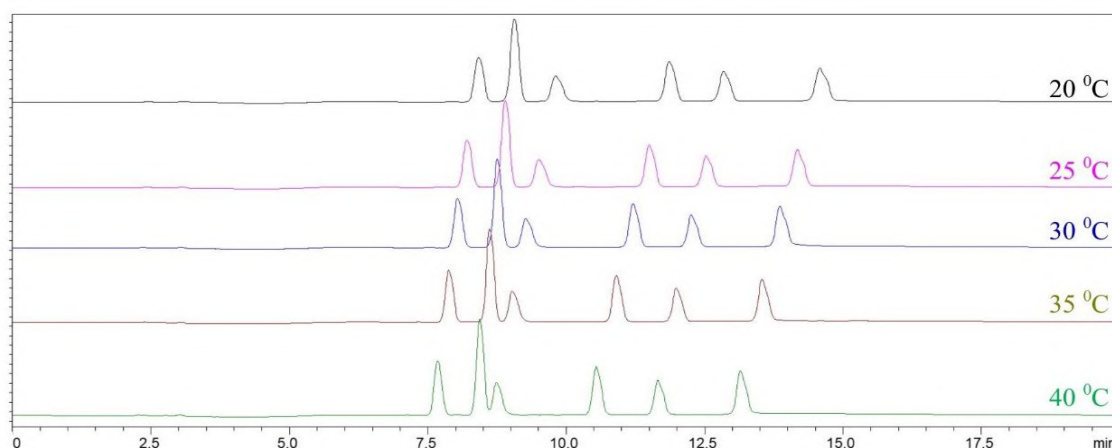
The  $R_s$  values of the Rhein-I.S peak pair were calculated as 1.824 and 1.920 at flow rates of 0.8 mL/min and 1.0 mL/min, respectively; it gradually decreased after flow rate of 1.0 mL/min. According to these results, the optimum flow rate in the study was determined as 1.0 mL/min.

In the literature, it had been reported that 1.0 mL/min flow rate was generally used in the analysis of aloe-emodin, rhein, emodin, chrysophanol and physcion by HPLC with different mobile phases (Uzun&Demirezer, 2019; Gautam et al., 2011; VanMen et al., 2012; Zou et al., 2008; He et al., 2009). Shi et al. (Shi et al., 2014) used as 0.8 mL/min and Wang et al. (Wang et al., 2013) used 0.5 mL/min flow rate in their studies. Thus, the flow rate of

1.0 mL/min determined in this study is compatible with the general results obtained in the literature.

### Column temperature

In order to determine the optimum column temperature, five different column temperatures were studied (20 °C, 25 °C, 30 °C, 35 °C and 40 °C) and resulting chromatograms are given in the Figure 7. It is seen from the chromatograms that the retention times of the compounds decrease with the increasing temperature, but the peaks become closer to each other. In chromatographic studies, it is desired a short retention time and also high resolution for the studied substances.



**Figure 7.** Standard mixture chromatograms of the compounds obtained at column temperatures of 20 °C, 25 °C, 30 °C, 35 °C and 40 °C

The data obtained in the column temperature optimization study are given in Table 5. It was found that as the column temperature increased, the resolution value of the Rhein-I.S peak pair decreased and this value was less than 1.5 after 30 °C. The Figure

7 shows that as the temperature increases, the peaks get close to each other, and the Rhein-I.S peaks do not separate at 35 °C and 40 °C. Therefore, 20 °C column temperature was chosen since the resolution of Rhein and I.S peaks was the highest.

**Table 5.** Comparison of values obtained for column temperature optimization

Column Temperature	Compounds	k <sub>2</sub>	α	k <sub>2</sub> /(k <sub>2</sub> +1)	(α-1)/α	(1/4)√N	R <sub>s</sub>
20 °C	I.S/Aloe-emodin	1.685	1.129	0.628	0.114	31.428	2.250
	Rhein/I.S	1.906	1.131	0.656	0.116	26.682	2.030
	Emodin/ Rhein	2.514	1.319	0.715	0.242	35.135	6.079
	Chrysophanol/Emodin	2.806	1.116	0.737	0.104	36.819	2.822
	Physcion/Chrysophanol	3.212	1.145	0.763	0.127	37.114	3.596
25 °C	I.S/Aloe-emodin	1.879	1.135	0.653	0.119	32.092	2.494
	Rhein/I.S	2.074	1.104	0.675	0.094	27.217	1.727
	Emodin/ Rhein	2.719	1.311	0.731	0.237	35.491	6.149
	Chrysophanol/Emodin	3.051	1.122	0.753	0.109	37.072	3.043
	Physcion/Chrysophanol	3.584	1.175	0.782	0.149	39.347	4.585
30 °C	I.S/Aloe-emodin	1.834	1.145	0.647	0.127	31.999	2.629
	Rhein/I.S	2.000	1.091	0.667	0.083	27.692	1.533
	Emodin/ Rhein	2.626	1.313	0.724	0.277	35.218	7.063
	Chrysophanol/Emodin	2.967	1.130	0.748	0.115	36.791	3.165
	Physcion/Chrysophanol	3.484	1.174	0.777	0.148	38.715	4.452
35 °C	I.S/Aloe-emodin	1.786	1.155	0.641	0.134	32.221	2.768
	Rhein/I.S	1.918	1.073	0.657	0.068	28.147	1.257
	Emodin/ Rhein	2.526	1.316	0.716	0.240	35.368	6.078
	Chrysophanol/Emodin	2.877	1.138	0.742	0.121	34.852	3.129
	Physcion/Chrysophanol	3.379	1.174	0.772	0.148	40.117	4.584
40 °C	I.S/Aloe-emodin	1.791	1.162	0.642	0.139	32.445	2.895
	Rhein/I.S	1.892	1.056	0.654	0.053	28.350	0.983
	Emodin/ Rhein	2.488	1.315	0.713	0.240	35.516	6.077
	Chrysophanol/Emodin	2.857	1.148	0.741	0.129	35.152	3.360
	Physcion/Chrysophanol	3.350	1.172	0.770	0.147	37.565	4.252

As a result of the literature review, it is seen that the column temperature of 25 °C was usually determined in HPLC methods (Zou et al., 2008; Wei et al., 2013; He et al., 2009; Ahmad et al., 2014). In the studies conducted by Feng et al., (Feng et al., 2017) and Sharma et al.(Sharma et al., 2012), 30 °C was used as the column temperature. Wang et al. (Wang et al., 2013) determined the column temperature as 35 °C; Gao et al. (Gao et al., 2009) and Shi et al. (Shi et al., 2014) determined it as 40 °C.

**Optimum conditions**

For the method to be used in the separation of compounds, three different columns, two different mobile phases B, five different

mobile phase A compositions, five different flow rates and five different column temperatures were evaluated and the optimum separation conditions were determined (Table 6).

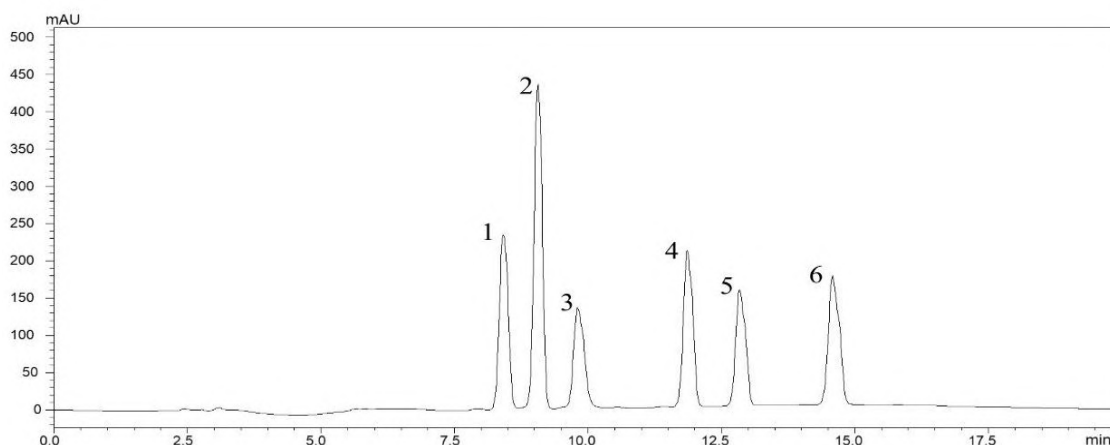
**Table 6.** The Optimum Chromatographic Conditions

Column	Supelcosil LC-18 (250 mm × 4,6mm,
Wavelength	225 nm
Injection volume	20 µL
Mobile Phase A	dH <sub>2</sub> O + 0.5% orthophosphoric acid
Mobile Phase B	Methanol

<b>Flow rate</b>	1.0 mL/min
<b>Column</b>	20 °C
<b>Injection time</b>	20 min

### Separation of compounds at optimum conditions

The standard mixture chromatogram obtained under the optimized condition is given in the Figure 8. The retention times were found to be 8.413, 9.806, 11.858, 12.840 and 14.579 minutes



**Figure 8.** Chromatogram of standard mixture (1-Aloe-emodin, 2-I.S, 3-Rhein, 4-Emodin, 5-Chrysophanol, 6-Physcion)

good baseline resolution was obtained for the aloe-emodin, the rhein, the emodin, the chrysophanol and the physcion.

The chromatographic data obtained under optimum conditions are shown in Table 7. Under the proposed optimization conditions,

**Table 7.** The capacity factors, selectivity, and resolution factor values for the compounds studied

Compounds	$k_2$	$\alpha$	$k_2/(k_2+1)$	$(\alpha-1)/\alpha$	$(1/4)\sqrt{N}$	$R_s$
I.S/Aloe-emodin	1.685	1.129	0.628	0.114	31.428	2.250
Rhein/I.S	1.906	1.131	0.656	0.116	26.682	2.030
Emodin/ Rhein	2.514	1.319	0.715	0.242	35.135	6.079
Chrysophanol/Emodin	2.806	1.116	0.737	0.104	36.819	2.822
Physcion/Chrysophanol	3.212	1.145	0.763	0.127	37.114	3.596

## 4. Conclusions and Recommendations

In this study, an RP-HPLC method was successfully developed for the simultaneous separation of the five anthraquinone compounds (aloe-emodin, rhein, emodin, chrysophanol and physcion). The developed method was optimized properly utilizing a Supercosil LC-18 column at the 20 °C with a 0.5% orthophosphoric acid-water mixture as the mobile phase A and methanol as the mobile phase B. The injection volume of 20  $\mu$ L and the flow rate of 1.0 mL/min were studied with a DAD detector at 225 nm. In determination of the optimum separation conditions the capacity factor, the selectivity and the resolution parameters were all found to be above the reference values and five different

standards were separated efficiently in 15 minutes. Therefore, this efficient RP-HPLC method can be recommended as the preferred separation method for the anthraquinones as both determination and routine analysis.

## References

- Agarwal, S.K., Singh, S.S., Verma, S., & Kumar, S., (2000). Antifungal activity of anthraquinone derivatives from Rheum emodi. *Journal of Ethnopharmacology*, 72 (1-2), 43-46. doi: 10.1016/s0378-8741(00)00195-1
- Ahmad, W., Zaidi, S.M.A., Mujeeb, M., Ansari, S.H., & Ahmad, S., (2014). HPLC and HPTLC Methods by Design for Quantitative Characterization and *in vitro* Anti-oxidant

- Activity of Polyherbal Formulation Containing *Rheum emodi*. *Journal of Chromatographic Science*, 52 (8), 911-918. doi: 10.1093/chromsci/bmt123
- Aichner, D., & Ganzera, M., (2015). Analysis of anthraquinones in rhubarb (*Rheum palmatum* and *Rheum officinale*) by supercritical fluid chromatography. *Talanta*, 144, 1239-1244. doi: 10.1016/j.talanta.2015.08.011
- Chen, C., Fu, Z., Zhou, W., Chen, Q., Wang, C., Xu, L., Wang, Z. and Zhang, H., (2020). Ionic liquid-immobilized NaY zeolite-based matrix solid phase dispersion for the extraction of active constituents in *Rheum palmatum* L. *Microchemical Journal*, 152, 104245. doi: 10.1016/j.microc.2019.104245
- Chen, S.H., Lin, K.Y., Chang, C.C., Fang, C.L., & Lin, C.P., (2007). Aloe-emodin-induced apoptosis in human gastric carcinoma cells. *Food and Chemical Toxicology*, 45 (11), 2296-2303. doi: 10.1016/j.fct.2007.06.005
- Chien, S.C., Wu, Y.C., Chen, Z.W., & Yang, W.C., (2015). Naturally occurring anthraquinones: chemistry and therapeutic potential in autoimmune diabetes. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, Article ID 357357. doi: 10.1155/2015/357357
- ElSohly, M.A., Gul, W., & Murphy, T.P., (2004). Analysis of the anthraquinones aloe-emodin and aloin by gas chromatography/mass spectrometry. *International Immunopharmacology*, 4 (14), 1739-1744. doi: 10.1016/j.intimp.2004.07.005
- Farooq, U., Pandith, S.A., Singh, Saggoo, M.I., & Lattoo, S.K., (2013). Altitudinal variability in anthraquinone constituents from novel cytotypes of *Rumex nepalensis* Spreng—a high value medicinal herb of North Western Himalayas. *Industrial Crops and Products*, 50, 112-117. doi: 10.1016/j.indcrop.2013.06.044
- Feng, S.X., Li, M.M., Zhao, D., Li, X.H., Zhang, L., Wang, Z., & Gao, N.N., (2017). Simultaneous Determination of 10 Anthraquinones in Rhubarb Based on HPLC-Q-HR/MS. *Chinese Herbal Medicines*, 9 (4), 388-395. doi: 10.1016/S1674-6384(17)60120-5
- Gao, X.Y., Jiang, Y., Lu, J., & Tu, P.-F., (2009). One single standard substance for the determination of multiple anthraquinone derivatives in rhubarb using high-performance liquid chromatography-diode array detection. *Journal of Chromatography A*, 1216 (11), 2118-2123. doi: 10.1016/j.chroma.2008.11.104
- Gautam, R., Srivastava, A., & Jachak, S.M., (2011). Simultaneous Determination of Naphthalene and Anthraquinone Derivatives in *Rumex nepalensis* Spreng. Roots by HPLC: Comparison of Different Extraction Methods and Validation. *Phytochemical Analysis*, 22 (2), 153-157. doi: 10.1002/pca.1261
- Guo, S., Feng, B., Zhu, R., Ma, J., & Wang, W., (2011). Preparative Isolation of Three Anthraquinones from *Rumex japonicus* by High-Speed Counter-Current Chromatography. *Molecules*, 16 (2), 1201-1210. doi: 10.3390/molecules16021201
- He, D., Chen, B., Tian, Q., & Yao, S., (2009). Simultaneous determination of five anthraquinones in medicinal plants and pharmaceutical preparations by HPLC with fluorescence detection. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 49 (4), 1123-1127. doi: 10.1016/j.jpba.2009.02.014
- Hu, S.S., Cao, W., Dai, H.B., Da, J.H., Ye, L.H., Cao, J., & Li, X.Y., (2014). Ionic-liquid-micelle-functionalized mesoporous Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> microspheres for ultraperformance liquid chromatography determination of anthraquinones in dietary supplements. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62 (35), 8822-8829. doi: 10.1021/jf502323f
- Iizuka, A., Iijima, O.T., Kondo, K., Itakura, H., Yoshie, F., Miyamoto, H., Kubo, M., Higuchi, M., Takeda, H., & Matsumiya, R., (2004). Evaluation of Rhubarb using antioxidative activity as an index of pharmacological usefulness. *Journal of Ethnopharmacology*, 91 (1), 89-94. doi: 10.1016/j.jep.2003.11.021
- Koyama, J., Morita, I., & Kobayashi, N., (2007). Simultaneous determination of anthraquinones in rhubarb by high-performance liquid chromatography and capillary electrophoresis. *Journal of Chromatography A*, 1145 (1-2), 183-189. doi: 10.1016/j.chroma.2007.01.076
- Koyama, J., Morita, I., Tagahara, K., Nobukuni, Y., Mukainaka, T., Kuchide, M., Tokuda, H., & Nishino, H., (2002). Chemopreventive effects of emodin and cassiamin B in mouse skin carcinogenesis. *Cancer Letters*, 182 (2), 135-139. doi: 10.1016/S0304-3835(02)00100-3
- Kuo, C.H., & Sun, S.W., (2003). Analysis of nine rhubarb anthraquinones and bianthrone by micellar electrokinetic chromatography using experimental design. *Analytica Chimica Acta*, 482 (1), 47-58. doi: 10.1016/S0003-2670(03)00169-7
- Liu, S.Y., Sporer, F., Wink, M., Jourdane, J., Henning, R., Li, Y.L., & Ruppel, A., (1997). Anthraquinones in *Rheum palmatum* and *Rumex dentatus* (Polygonaceae), and phorbol esters in *Jatropha curcas* (Euphorbiaceae) with molluscicidal activity against the schistosome vector snails *Oncomelania*, *Biomphalaria*, and *Bulinus*. *Tropical Medicine and International Health*, 2 (2): 179-188. doi: 10.1046/j.1365-3156.1997.d01-242.x
- Li-Weber M., (2013). Targeting apoptosis pathways in cancer by Chinese medicine. *Cancer Letters*, 332 (2), 304-312. doi: 10.1016/j.canlet.2010.07.015
- Locatelli M., (2011). Anthraquinones: analytical techniques as a novel tool to investigate on the triggering of biological targets. *Current Drug Targets*, 12 (3) 366-380. doi: 10.2174/138945011794815338
- Lü, H., Wang, J., Wang, X., Lin, X., Wu, X., & Xie Z., (2007). Rapid separation and determination of structurally related anthraquinones in Rhubarb by pressurized capillary electrochromatography. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 43 (1), 352-357. doi: 10.1016/j.jpba.2006.06.023
- Mandrioli, R., Micolini, L., Ferranti, A., Fanali, S., & Raggi, M.A., (2011). Determination of aloe emodin in Aloe vera extracts and commercial formulations by HPLC with tandem UV absorption and fluorescence detection. *Food Chemistry*, 126 (1), 387-393. doi: 10.1016/j.foodchem.2010.10.112
- Mehta, J., (2012). Separation and characterization of anthraquinone derivatives from *Cassia fistula* using chromatographic and spectral techniques. *International Journal of Chemical Sciences*, 10(1), 306-316.
- Rafaely, L., Heron, S., Nowik, W., & Tchaplá, A., (2008). Optimisation of ESI-MS detection for the HPLC of anthraquinone dyes. *Dyes and Pigments*, 77 (1), 191-203. doi: 10.1016/j.dyepig.2007.05.007
- Reynolds T., (2004). Aloes: The genus *Aloe* (Medicinal and Aromatic Plants – Industrial Profiles). *CRC Press*.
- Rong, F., Xi, H., Yang, W., Ping, R., Feng, Q., Chunhu, Z., Lan, F., Lichen, G., Zhaoqian, L., & Honghao, Z., (2011). Determination of anthraquinones by UPLC method in patient



- with craniocerebral injuries after oral administration of rhubarb. *Word Science and Technology*, 13, 676-680.
- Shang, X., & Yuan, Z., (2003). Determination of hydroxyanthraquinoids in Rhubarb by cyclodextrin-modified micellar electrokinetic chromatography using a mixed micellar system of sodium dodecyl sulfate and sodium cholate. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 31 (1), 75-81. doi: 10.1016/s0731-7085(02)00596-4
- Sharma, N., Kumar, R., Sinha, A.K., Reddy, P.B., Nayeem, S.M., & Deep, S., (2012). Anthraquinone derivatives based natural dye from *Rheum emodi* as a probe for thermal stability of proteins: Spectroscopic and chromatographic studies. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 62, 96-104. doi: 10.1016/j.jpba.2011.12.017
- Shi, Y.B., Li, H.L., Wang, H.Q., Yang, Y.B., Zhang, X.Y., Wang, H., Zhu, Z.J., Zhang, Z.Y., & Zhang, C.A., (2014). Simultaneous determination of five anthraquinones in a Chinese traditional preparation by RP-HPLC using an improved extraction procedure. *Journal of Integrative Medicine* 12 (5), 455-462. doi: 10.1016/S2095-4964(14)60037-6
- Singh, N.P., Gupta, A.P., Sinha, A.K., & Ahuja, P.S., (2005). High-performance thin layer chromatography method for quantitative determination of four major anthraquinone derivatives in *Rheum emodi*. *Journal of Chromatography A*, 1077 (2), 202-206. doi: 10.1016/j.chroma.2005.03.130
- Smolarz, H.D., Swatko-Ossor, M., Ginalska, G., & Medynska, E., (2013). Antimycobacterial effect of extract and its components from *Rheum rhaponticum*. *Journal of AOAC International*, 96 (1), 155-160. doi: 10.5740/jaoacint.12-010
- Su, Y.T., Chang, H.L., Shyue, S.K., & Hsu, S.L., (2005). Emodin induces apoptosis in human lung adenocarcinoma cells through a reactive oxygen species-dependent mitochondrial signaling pathway. *Biochemical Pharmacology*, 70 (2), 229-241. doi: 10.1016/j.bcp.2005.04.026
- Sun, S.W., & Yeh, P.C., (2005). Analysis of rhubarb anthraquinones and bianthrone by microemulsion electrokinetic chromatography. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis* 36, (5), 995-1001. doi: 10.1016/j.jpba.2004.08.039
- Tian, J., Chen, X. and Bai, X., (2012). Comparison of dispersive liquid-liquid microextraction based on organic solvent and ionic liquid combined with high-performance liquid chromatography for the analysis of emodin and its metabolites in urine samples. *Journal of Separation Science*, 35 (1), 145-152. doi: 10.1002/jssc.201100729
- Tian, K., Wang, Y., Chen, Y., Chen, X., & Hu, Z., (2007). Application of 1-alkyl-3-methylimidazolium-based ionic liquids as background electrolyte in capillary zone electrophoresis for the simultaneous determination of five anthraquinones in Rhubarb. *Talanta*, 72 (2), 587-593. doi: 10.1016/j.talanta.2006.11.027
- Uzun, M., & Demirezer, L.O., (2019). Anti-aging power of *Rumex crispus* L.: Matrixmetalloproteinases inhibitor, sun protective and antioxidant. *South African Journal of Botany*, 124, 364-371. doi: 10.1016/j.sajb.2019.05.028
- VanMen, C., Jang, Y.S., Zhu, H.M., Lee, J.H., Trung, T.N., Ngoc, T.M., Kim, Y.K., & Kang, J.K., (2012). Chemical-based species classification of rhubarb using simultaneous determination of five bioactive substances by HPLC and LDA analysis. *Phytochemical Analysis*, 23 (4), 359-364. doi: 10.1002/pca.1365
- Wang, A., Zhou, Y., Wu, F., He, P., & Fang, Y., (2004). Determination of active ingredients in Huangdan Yinchen Keliby CZE with amperometric detection. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 35, 959-964. doi:10.1016/j.jpba.2004.02.031
- Wang, G.Y., & Shi, Y.P., (2014). Simultaneous Determination of Anthraquinone Derivatives in Radix et Rhizoma Rhei-based Medicines by Ultra-Performance LC-ESCI-MS/MS Multiple Reaction Monitoring. *Acta Chromatographica*, 26 (2), 229-242. doi: 10.1556/AChrom.26.2014.2.3
- Wang, Y., Xiong, H., Zhang, X., & Wang, S., (2010). Electrochemical study of Aloe-emodin on an ionic liquid-type carbon paste electrode. *Microchimica Acta*, 169, 255-260. doi: 10.1007/s00604-010-0348-7
- Wang, Z., Hu, J., Du, H., He, S., Li, Q., & Zhang, H., (2016). Microwave-assisted ionic liquid homogeneous liquid-liquid microextraction coupled with high performance liquid chromatography for the determination of anthraquinones in *Rheum palmatum* L. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 125, 178-185. doi: 10.1016/j.jpba.2016.03.046
- Wang, Z., Ma, P., Xu, L., He, C., & Peng, Y., (2013). Evaluation of the content variation of anthraquinone glycosides in rhubarb by UPLC-PDA. *Chemistry Central Journal*, 7 (1), 170. doi: 10.1186/1752-153X-7-170
- Wei, S.Y., Yao, W.X., Ji, W.Y., Wei, J.Q., & Peng, S.Q., (2013). Qualitative and quantitative analysis of anthraquinones in rhubarbs by high performance liquid chromatography with diode array detector and mass spectrometry. *Food Chemistry*, 141 (3), 1710-1715. doi: 10.1016/j.foodchem.2013.04.074
- Wijesekara, I., Zhang, C., Van-Ta, Q., Vo, T.S., Li, Y.X., & Kim, S.K., (2014). Physcion from marine-derived fungus *Microsporium* sp. induces apoptosis in human cervical carcinoma HeLa cells. *Microbiological Research*, 169 (4), 255-261. doi: 10.1016/j.micres.2013.09.001
- Wolfender, J.L., Marti, G., Thomas, A., & Bertrand, S., (2015.) Current approaches and challenges for the metabolite profiling of complex natural extracts. *Journal of Chromatography A*, 1382, 136-164. doi: 10.1016/j.chroma.2014.10.091
- Xu, F., Liu, Y., Zhang, Z., Song, R., Dong, H., & Tian, Y., (2008). Rapid simultaneous quantification of five active constituents in rat plasma by high-performance liquid chromatography/tandem mass spectrometry after oral administration of *Da-Cheng-Qi* decoction. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 47 (3), 586-595. doi: 10.1016/j.jpba.2008.02.005
- Yanwen, W., Wenyuan, G., Xiaohe, X., & Yi, L., (2005). Calorimetric investigation of the effect of hydroxyanthraquinones in *Rheum officinale* Baill on *Staphylococcus aureus* growth. *Thermochimica Acta*, 429, 167-170. doi:10.1016/j.tca.2005.03.008
- Yao, X.S., Wu, L.J., & Wu, J.Z., (2004). Natural Medicine Chemistry. People Health Press; Beijing, China; pp. 150.
- Yen, G.C., Duh, P.D., & Chuang, D.Y., (2000). Antioxidant activity of anthraquinones and anthrone. *Food Chemistry*, 70 (4), 437-441. doi: 10.1016/s0308-8146(00)00108-4
- You, X., Feng, S., Luo, S., Cong, D., Yu, Z., Yang, Z., & Zhang, J., (2013). Studies on a rhein-producing endophytic fungus isolated from *Rheum palmatum* L. *Fitoterapia*, 85 (1), 161-168. doi: 10.1016/j.fitote.2012.12.010
- Zhan, H., Fang, J., Wu, H.W., Yang, H.J., Li, H., Wang, Z.J., Yang, B., Tang, L.Y., Fu, M.H. Rapid determination of total content

- of five major anthraquinones in Rhei Radix et Rhizoma by NIR spectroscopy. *Chinese Herbal Medicines*, 2017, vol. 9, no.3, p. 250, 10.1016/S1674-6384(17)60101-1.
- Zhang, H.F., & Shi, Y.P., (2010). Temperature-assisted ionic liquid dispersive liquid-liquid microextraction combined with high performance liquid chromatography for the determination of anthraquinones in Radix et Rhizoma Rhei samples. *Talanta*, 82 (3), 1010-1016. doi: 10.1016/j.talanta.2010.06.008
- Zhang, L.S., Hu, S., Chen, X., Bai, X.H., & Li, Q.S., (2013). A new ionic liquid-water-organic solvent three phase microextraction for simultaneous preconcentration flavonoids and anthraquinones from traditional Chinese prescription. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 86, 36-39. doi: 10.1016/j.jpba.2013.07.007
- Zou, J.L., Xie, Z.Y., Jiang, X.F., Chen, X.X., & Yao, M.C., (2008). Determination of Anthraquinones in Different Compatibility of Dahuang Huanglian Xiexin Decoction by HPLC. *World Science and Technology*, 10 (4), 61-64. doi: 10.1016/S1876-3553(09)60021-1
- Zuo, Y., Wang, C., Lin, Y., Guo, J., & Deng, Y., (2008). Simultaneous determination of anthraquinones in radix *Polygoni multiflori* by capillary gas chromatography coupled with flame ionization and mass spectrometric detection. *Journal of Chromatography A*, 1200 (1), 43-48. doi: 10.1016/j.chroma.2008.01.058



# Genetik Algoritma İle Öznitelik Seçimi Yapılarak Yazılım Projelerinin Maliyet Tahmini

Sukran Ebre Kara<sup>1,2,\*</sup>, Ruya Samli<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Şırnak Üniversitesi, Cizre Meslek Yüksekokulu, Bilgisayar Teknolojileri Bölümü, Şırnak, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-3071-6942), [sebrekara@srnak.edu.tr](mailto:sebrekara@srnak.edu.tr)

<sup>2</sup> İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-8723-1228), [ruyasamli@iuc.edu.tr](mailto:ruyasamli@iuc.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 12 Eylül 2021 ve Kabul Tarihi 28 Kasım 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.994372)

**ATIF/REFERENCE:** Ebre Kara, Ş. & Şamlı, R. (2021). Genetik Algoritma İle Öznitelik Seçimi Yapılarak Yazılım Projelerinin Maliyet Tahmini. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (27), 985-994.

## Öz

Bir yazılım projesinin tahmini maliyetini, yazılımı geliştirme döngüsünün başlarında yapabilmek proje yöneticisi için çok büyük önem arz etmektedir. Projede ön görülemeyen belirsizlikler, zaman ve maliyet açısından proje yöneticisine sorunlar doğuracaktır. Yazılım maliyetinin doğru tahmin edilmesi bu gibi sorunları en aza indirmektedir. Literatürdeki çalışmalara bakıldığında, yazılım projelerinin maliyetinin çok farklı yöntemlerle tahmin edilmeye çalışıldığı görülmektedir. Bu çalışmanın amacı, bu yöntemler arasında sıklıkla kullanılan bir yöntem olarak ifade edilebilecek olan Genetik Algoritma (GA) kullanılarak veri setlerinde öznitelik seçiminin yazılım projelerinin maliyet tahminine etkisinin araştırılmasıdır.

Bu çalışmada yazılım projelerinin maliyet tahmini için, WEKA (Waikato Environment for Knowledge Analysis – Bilgi Analizi için Waikato Ortamı) programında bulunan 8 farklı Makine Öğrenmesi algoritması ve Evrimsel Algoritma: Genetik Programlama (GP) (Genetic Programming) varsayılan ayarlar ile iki şekilde çalıştırılmıştır. İlk olarak, PROMISE (Predictor Models in Software Engineering – Yazılım Mühendisliğinde Tahmin Modelleri) veri deposundan temin edilen ham veri setlerine (Albrecht, Finnish, Kemerer, Maxwell ve Miyazaki94) herhangi bir öznitelik seçimi yapılmadan Makine Öğrenmesi algoritmaları uygulanarak yazılım maliyet tahmini gerçekleştirilmiştir. İkinci olarak, öncelikle veri setlerine GA uygulanarak öznitelik seçimi yapılmıştır. Öznitelik seçimi ile ilgili alt küme çıkarıldıktan sonra veri setlerine Makine Öğrenmesi algoritmaları uygulanarak yazılım maliyet tahmini gerçekleştirilmiştir. Algoritmalar 10 kat çapraz doğrulama tekniği ile test edilmiş ve sonuçlar değerlendirilirken, hata oranları, korelasyon katsayısı, MAE (Mean Absolute Error – Ortalama Mutlak Hata) ve RAE (Relative Absolute Error – Bağıl Mutlak Hata) dikkate alınmıştır. Bulgular karşılaştırılıp performans değerleri analiz edildiğinde, GA ile öznitelik seçimi yapılan veri setlerinden elde edilen tahmin sonuçlarının öznitelik seçimi yapılmadan elde edilen tahmin sonuçlarından daha iyi olduğu belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Genetik Algoritmalar, Genetik Programlama, Makine Öğrenmesi, Yazılım Maliyet Tahmini, WEKA.

## Cost Estimation of Software Projects by Feature Selection with Genetic Algorithm

### Abstract

It is very important for the project manager to be able to estimate the cost of a software project early in the software development cycle. The project manager can reduce the uncertainties in the project by accurately estimating the project cost. Otherwise, serious economic problems will arise. Looking at the studies in the literature, it is seen that the cost of software projects has been tried to be estimated using very different methods. The aim of this study is to investigate the effect of feature selection with genetic algorithms on software cost estimation. In this study, 8 different Machine Learning algorithms in the WEKA (Waikato Environment for Knowledge Analysis) environment and Evolutionary Algorithm: Genetic Programming were run in two ways with default settings for the cost estimation of software projects. First, software cost estimation was performed by applying Machine Learning algorithms to the raw data sets (Albrecht, Finnish, Kemerer, Maxwell and Miyazaki94) which were obtained from the PROMISE (Predictor Models in Software Engineering) data store without any feature selection. Secondly, feature selection was made by applying Genetic Algorithm to the

datasets. After the subset of datasets was created by feature selection, Machine Learning algorithms were applied to the data sets and software cost estimation was realized. Algorithms were applied to datasets with 10-fold cross validation technique and results, MAE (Mean Absolute Error) and RAE (Relative Absolute Error) and performance criterion correlation coefficient. When the results were examined and the performance values were compared, it was determined that the estimation results obtained from the data sets with feature selection by Genetic Algorithm were better than the estimation results obtained without feature selection.

**Keywords:** Genetic Algorithms, Genetic Programming, Machine Learning, Software Cost Estimation, WEKA.

## 1. Giriş

Yazılım maliyet tahmini, yazılım geliştirme sürecinin en ciddi problemlerinden birisidir. Çünkü yazılım soyut bir üründür ve birçok bilinmeyi içermektedir. Bundan dolayı yazılım geliştirme süreci hem zordur hem de zaman alıcıdır (Yücalar, 2011). Demirörs (2011) yazılım proje yönetimini, başlangıç, planlama, yürütme, izleme, kontrol ve kapanış aşamalarından oluşan bir süreç olarak tanımlamıştır. Araştırmacı, projenin yürütme aşamasında yöneticilerin projenin durumunu belirlemesi, izlemesi, kontrol ve müdahale edebilmesi için gerçek proje verilerine ihtiyaç duyduklarını ayrıca güvenilir modeller oluşturarak projede gerekli olan kaynakları belirleyebilmesi için geçmiş proje verisine sahip olması gerektiğini belirtmiştir.

Bu çalışmada PROMISE veri deposundan temin edilen, Albrecht, Finnish, Kemerer, Maxwell ve Miyazaki<sup>94</sup> veri setleri kullanılmıştır. İlgili veri setleri, gerçek maliyet olan bağımlı ve maliyet ile ilgili olan bağımsız özniteliklerden oluşmaktadır. Ayyıldız (2007) çalışmasında veri setlerinde bulunan özniteliklerin yazılım maliyet tahminini çok etkilediğini vurgulamıştır. Bazı bağımsız özniteliklerin yazılım maliyetine fazla etkisi olmadığı, bu öz niteliklerin göz ardı edildiğinde daha iyi performans değerlerinin elde edilebileceği bu çalışma ile ispatlanmıştır.

Yazılım maliyet tahmininin doğruluğunu artırmak için birçok yazılım maliyet tahmin yöntemi geliştirilmiştir. Bu tahmin yöntemlerinden birisi de Yapay Zekâ yöntemleridir. Bu çalışmada yazılım projelerinin maliyeti, Yapay Zekâ teknolojisinin alt dallarından olan Makine Öğrenmesi ve özellikle GP kullanılarak tahmin edilmeye çalışılmıştır. Bu amaçla ilk olarak veri setlerine Genetik Programlama uygulanarak öznitelik seçimi yapılmıştır. Bu esnada maliyet tahminine etkisi olmayan ya da en az etkisi olan öznitelikler elenmiştir. Daha sonra veri setlerine WEKA'da bulunan Gaussian Processes (Gauss Yöntemi), Linear Regression (Doğrusal Regresyon), Multilayer Perceptron (Çok Katmanlı Algılayıcı), RandomSubSpace (Rastgele Alt Boşluk), Random Comittee (Rastgele Komite), Decision Table (Karar Tablosu), Random Tree (Rastgele Ağaç), Random Forest (Rastgele Orman) ve Genetic Programming Makine Öğrenmesi algoritmaları uygulanmıştır. Performans ölçütü olarak korelasyon katsayısı, MAE ve RAE baz alınarak değerlendirilmiştir. Testler WEKA 3.9 sürümü kullanılarak gerçekleştirilmiştir. GP algoritması için WEKA'nın 3.4.12 sürümü kullanılmıştır.

Bu çalışmaya GP ile yazılım maliyet tahmini konusunda öncü bir çalışma niteliği taşıdığından öncesinde bu işlemin doğru bir şekilde yapılıp yapılmayacağı araştırılmıştır. İncelenen bir çalışmada (Burgess ve Lefley, 2001) GP'nin doğrulukta önemli iyileştirmeler sağlayabileceği, ancak bu doğruluğun ölçülmesine ve yorumlanmasına bağlı olduğu belirtilmiştir. Ayrıca GP'nin yazılım maliyet tahmini için ek seçenek olma potansiyeline sahip olduğu bunun da kurulum ve çalıştırma çabasının yüksek ve yorumlanmasının zor olduğu vurgulanmıştır.

Shan vd. (2002) yaptıkları çalışmada, bazı araştırmacıların veri setlerinde, fazladan öznitelik olduğunu ve bunları azaltmak için farklı yöntemleri uyguladıklarını vurgulamışlardır. İlgili çalışmada yazarlar, uygun metrik kümeleri belirlemeyi ve yazılım geliştirme çabasının tahminini iyileştirmeyi amaçlayan, geçmiş projelerin veri kümesine doğrusal olmayan modelleri uydurmak için evrimsel bir yaklaşım olan GGGP (Grammar Guided Genetic Programming – Dilbilgisi Güdümlü Genetik Programlama) kullanmışlardır. Bu şekilde yazılım maliyet tahmininde GP'yi başarılı bir şekilde kullanmışlardır.

Soleimanian vd. (2015) çalışmalarında GA ve Tabu Arama Algoritması'nın bir melez sistemini kullanarak yazılım projelerinin maliyet tahminini optimize etmeye çalışmışlar ve oluşturulan melez sistemle daha optimum sonuçların elde edildiğini göstermişlerdir.

Başkeleş vd. (2007) çalışmalarında yazılım maliyet tahmini için Makine Öğrenmesi algoritmalarını kullanan bir model önermişlerdir. Bu modeli kamuya açık veri setleri (NASA – National Aeronautics and Space Administration, USC – University of South California) ve Türkiye'deki yazılım kuruluşlarından toplanan veriler (SDR – Softlab Data Repository) üzerinde değerlendirmişlerdir. Değerlendirmeler ile bir veri kümesi için en iyi yöntemin değişebileceği ve tek bir modelin kullanılmasının her zaman en iyi sonuçları üretemeyeceği gerçeğini kanıtlamışlardır.

Singh ve Misra, (2012) çalışmasında, COCOMO (Constructive Cost Model – Yapıcı Maliyet Modeli)'nin daha iyi bir maliyet tahmini sağlayabilmesi için COCOMO modelinin parametreleri yeniden ayarlanmıştır. COCOMO modelinin parametrelerini ayarlamak için GP kullanılarak bir optimizasyon algoritması üzerinde çalışılmıştır. Geliştirilen modelin performansı NASA veri seti üzerinde test edilmiştir. Test sonuçları var olan modelle karşılaştırıldığında geliştirilen modelin daha iyi sonuçlar sağladığı tespit edilmiştir.

Tran vd., (2015) çalışması, yüksek boyutlu verilerde sınıflandırma, öznitelik sayısının fazla olması nedeniyle zorlu bir iş olduğu, sorunun GP ile özellik seçimi yapılarak çözülebileceği ve GP'nin hem özellik oluşturma hem de örtük özellik seçimi için kullanılabilmesi sonucunu ortaya çıkarmıştır. Bu çalışmada yüksek boyutlu sınıflandırma problemlerinde öznitelik oluşturma ve seçimi için GP kullanımını araştırılan kapsamlı bir çalışma sunmuşlardır. Öznitelik seçimi ve öznitelik oluşturma, özellik uzayının kalitesini artırmak için kullanılan veri ön işleme teknikleridir. Öznitelik seçimi, orijinal öznitelik kümesinden yalnızca yararlı öznitelikleri seçmeyi amaçlar. Üç farklı türde öznitelik seçimi ve oluşturma yaklaşımı önerilmiştir: bunlar sarmalayıcı, filtre ve gömülü yaklaşımlar şeklindedir. Evrimsel hesaplama, özellik seçimi ve özellik oluşturma için yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu makale, dört farklı sınıflandırma algoritması üzerinde, altı farklı şekilde seçilmiş öznitelik setinin performansını analiz ederek, yüksek boyutlu veriler üzerinde öznitelik inşası ve seçimi için GP'nin kullanımını araştırmaktadır.

## 1.1. Öznitelik Seçimi

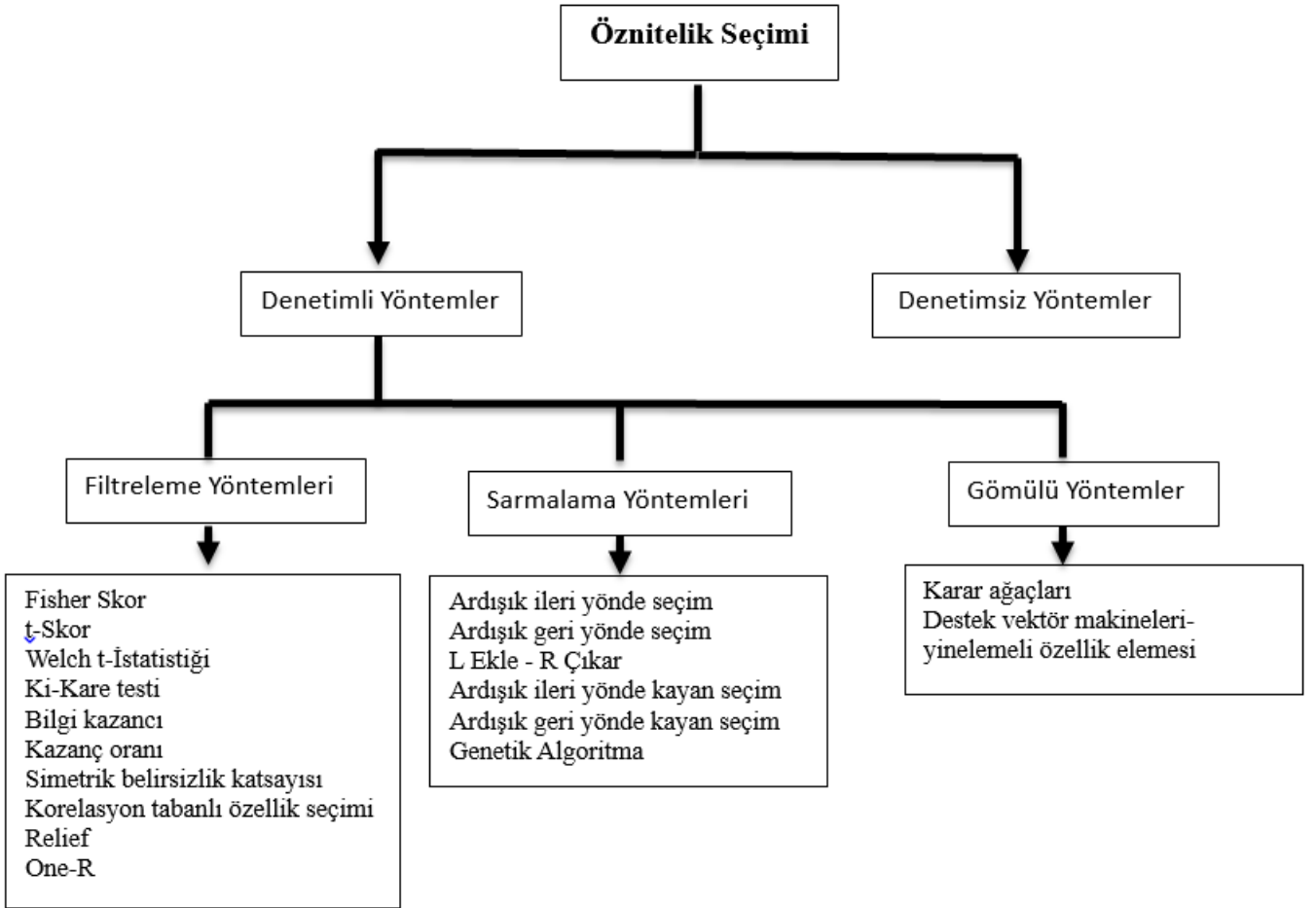
Makine Öğrenmesi'nde, bir modeli eğitmek ve daha iyi öğrenmesine yardımcı olmak için büyük miktarda veri toplanmaktadır. Çoğu zaman bu verilerin hepsi, sözkonusu model için yararlı olmamaktadır. Çok fazla gereksiz veriye sahip olmak modelin yavaşlamasına ve yanlış sonuçlar çıkarmasına neden olmaktadır. Öznitelik seçimi bir veri seti içinden, modelin başarısını etkileyen gerekli verilerin seçilip gereksiz verilerin çıkarılması işlemidir. Bu şekilde modelin başarısı artırılmaktadır. Öznitelik seçimi veriler üzerinde herhangi bir dönüşüm yapmadan mevcut özniteliklerin bir alt kümesini oluşturmaktadır (Güven Aydın, 2021).

Öznitelik seçimi, sınıflandırma sistemlerinde verimli ve yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Öznitelik seçimi ile yapılan sınıflandırmada, işlem sayısı azalır, gürültülü ve alakasız öznitelikler veri setinden çıkarılarak sınıflandırma başarısı arttırılır. Eğitim zamanı kısalmış, daha az ölçüm yapılır ve daha az

bellek tüketilir. Bu sayede, anlamlı ve daha kolay sınıflandırma sağlanmış olur (Abe vd., 1998; Huang ve Chow, 2005).

### 1.1.1. Öznitelik Seçim Yöntemleri

Öznitelik seçimi için kullanılan çeşitli algoritmalar mevcuttur. Bu algoritmalar, öğrenme algoritmasına bağımlılığına dayalı olarak filtreleme, sarmalama ve gömülü yöntemler olarak üç ana gruba ayrılır (Moghaddam, 2014). Filtreleme yöntemleri, veri madenciliğinde kullanılan en eski öznitelik seçim yöntemleri olarak bilinmektedir. Sadece istatistiksel ölçütlere dayalı fonksiyonlar yardımıyla öznitelik seçimi yapan yöntemlerdir. Sarmalama yöntemleri, öznitelikler üzerinde arama işlemi gerçekleştiren yöntemlerdir. Gömülü yöntemler ise, yapısında hem sınıflandırma algoritması hem de öznitelik seçimi algoritmasını barındırdığından, sınıflandırma ve öznitelik seçme süreçlerini eşzamanlı olarak gerçekleştirebilen yöntemlerdir (Budak, 2018). Şekil 1'de öznitelik seçim yöntemlerinden bazıları verilmiştir.



Şekil 1. Öznitelik seçimi yöntemleri

### 1.1.2. Öznitelik Seçim Algoritması

Bu çalışmada WEKA programında bulunan CfsSubsetEval (Corelation-based Feature Subset Selection Evaluation – Korelasyon Tabanlı Özellik Seçim Değerlendirici) yöntemi, en etkili özniteliklerin ortaya çıkarılması amacıyla kullanılmıştır. CfsSubsetEval, öznitelik alt kümelerini korelasyon değerine göre sıralayan sezgisel basit bir filtre algoritmasıdır. En iyi öznitelik alt kümesini korelasyon yardımı ile bulmaktadır. Bu algoritma sınıfla

yüksek düzeyde ilişkili olan ve birbirleriyle ilişkisiz öznitelikler içeren alt kümeleri değerlendirmektedir. Alakasız olan öznitelikler sınıfla düşük korelasyona sahip olacağından göz ardı edilmektedir. CfsSubsetEval bir arama yöntemi değildir, bunun yerine arama algoritmalarına öznitelik alt kümesinin etkinliğini değerlendirmek için bir metrik önermektedir. Algoritmanın temelinde çıktı sınıfıyla yüksek oranda ilişkili ancak birbiriyle ilişkisiz özelliklere sahip iyi bir öznitelik alt kümesi oluşturmak

yatmaktadır (Hall, 1999). CfsSubsetEval, herhangi bir ağgözlü veya meta-sezgisel arama yaklaşımıyla kullanılabilir. Bu çalışmada CfsSubsetEval, GeneticSearch (Genetik Arama) algoritması ile birlikte kullanılmıştır.

### 1.1.3. Öznitelik Seçimi Genel Adımları

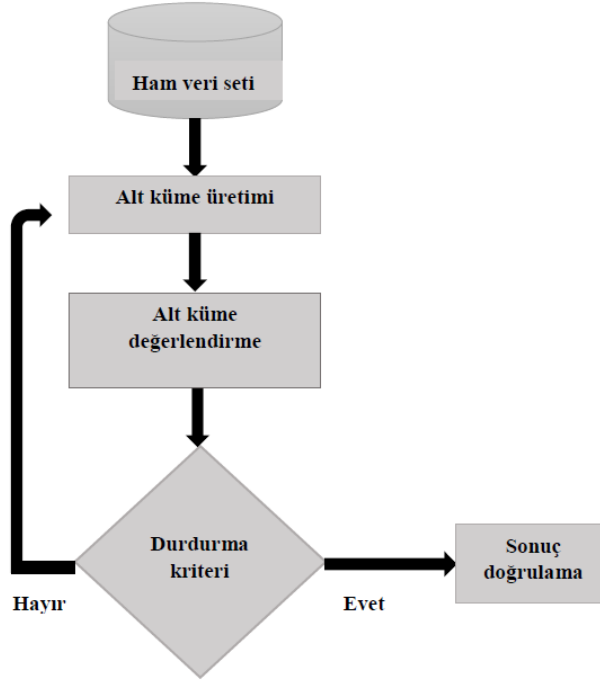
Şekil 2’de görüldüğü üzere öznitelik alt kümesinin oluşturulması için ham veri setinden yararlanılmaktadır. Ham veriden elde edilen öznitelik alt kümesinin seçilip seçilmeyeceğine karar vermek için farklı formüller kullanılarak değerlendirmeler yapılmaktadır. Değerlendirmeler sonucunda seçilmesine karar verilen öznitelik, ilgili alt kümeye dâhil edilmekte ve algoritmanın durdurma kriteri sağlanana kadar süreç devam etmektedir.

## 1.2. Genetik Algoritmalar

GA evrimsel programlamanın bir alt dalıdır. Charles Darwin’in ilkelerine dayanan evrimsel programlama, 1960’lı yıllarda I.Rechenberg’in “Evrimsel stratejileri” adlı çalışmasıyla

gündeme gelmiştir. Genetik Algoritmaların koda dökülüp programlanmasına GA’nın Genetik Programlama denmektedir. Genetik Algoritmalar, doğal seçim ilkesine dayanarak en iyi çözümü veya en iyiye yakın olabilecek çözümü bulmayı hedefleyen sezgisel bir arama ve optimizasyon yöntemidir (Nabiyev, 2016).

GA ilk defa Michigan Üniversitesi’nde John Holland tarafından 1975’te bugünkü biçimi ile kullanılmıştır. Holland evrim yasalarını GA içinde en iyileştirme problemleri için kullandığı çalışmaları bir araya getirmesi sonrasında GA, Yapay Zekâ ve özellikle Makine Öğrenmesi konularında büyük bir alt alan olarak kullanılmıştır. John Holland ve onun çalışma arkadaşları ile öğrencileri tarafından GA geliştirilmiş ve bilgisayar ortamına taşınmıştır. Daha sonra yine aynı ekipten ortaya çıkan ve gaz borularının GA ile optimizasyonunu inceleyen doktora tezi ile Genetik Algoritmaların sadece teorik olmadığı ve uygulamalarının farklı alanlarda yapılabileceği ispatlanmıştır. Bu tezin devamında gelen kitapta GA’ya dayalı tam 83 uygulamaya yer verilmiştir (Kubat, 2014; Moghaddam, 2014).



Şekil 2. Öznitelik seçimi akış şeması

GA’nın uygulama için en uygun olduğu problemler geleneksel yöntemler ile çözümü mümkün olmayan, matematiksel modeli kurulamayan ya da çözüm süresi problemin büyüklüğü ile üstel orantılı olarak artan problemlerdir. Bir arama algoritması olan GA, farklı bilim alanlarındaki optimizasyon problemlerini çözmeye kullanılmaktadır (Kubat, 2014).

## 1.3. Makine Öğrenmesi

Yapay Zekânın bir alt dalı olan Makine Öğrenmesi, bilgisayarların insanlar gibi algoritmalar ve veriler yardımıyla öğrenmesini ve hareket etmesini sağlamaktadır (Kaluzza, 2016). Makine Öğrenmesi’nin özünde, makinelerin tek başlarına doğru kararlar verebilme düşüncesi yatmaktadır. Bilgi güçtür prensibine dayanan Makine Öğrenmesi, bir makine ne kadar çok eğitilirse o kadar çok bilgilendirir ne kadar çok bilgilendirirse o kadar çok doğru

kararlar verebilir. Yani bir makine eğitildikçe öğrenir, öğrendikçe daha doğru sonuçlar üretir (Ehren Kara ve Samli, 2021).

Gelecek ile ilgili tahminlerde bulunabilmek için geçmişteki verilerin analizinin yapılması gerekmektedir. Çok büyük miktardaki verinin elle işlenmesi ve analizinin yapılması çok mümkün değildir. Bu problemin çözümü için Makine Öğrenmesi algoritmaları geliştirilmiştir (Diri, 2014). Makine Öğrenmesi algoritmaları genellikle geçmiş verileri kullanarak sınıflandırma, öğrenme ve tahmin problemlerinde kullanılmaktadır (Mitchell, 1997).

### 1.3.1. Kullanılan Makine Öğrenmesi Algoritmaları

**Gaussian Processes (Gauss Yöntemi):** Gauss süreci, hem denetimli hem de denetimsiz öğrenme sürecinde olduğu gibi Bayes regresyonu için de kullanılabilen doğrusal olmayan güçlü

bir tahmin ve sınıflandırma algoritmasıdır. Gauss olasılık dağılımını genelleştiren parametrik olmayan stokastik bir süreçtir. Gauss süreci çok değişkenli Gauss dağılımlarını sonsuz boyutluluğa genişletir (Bishop, 2006).

**Linear Regression (Doğrusal Regresyon):** Doğrusal regresyon, iki değişken arasındaki sayısal ilişkiyi inceleyerek değişkenlerden birinin değerini başka bir değişkenin değerine göre kestirim yapmak için kullanılan bir analiz yöntemidir. Tahmin yapılmak istenen değişken, bağımlı değişken; bağımlı değişkenin değerini tahmin etmek için kullanılan değişkene de bağımsız değişken ismi verilmektedir.

**Multilayer Perceptron (Çok Katmanlı Algılayıcı):** Bir Yapay Sinir Ağı modeli olarak düşünülebilir. Belirli problemleri çözmek için birlikte çalışan, birbirine bağlı işlem elemanlarından (nöronlar veya düğümler) oluşan bir hesaplama sistemidir (Caudill, 1987). İnsan beyninin nasıl çalıştığından ilham alan, sinir sistemini modelleyerek oluşturulan bir algoritmadır. Çok Katmanlı Algılayıcı, giriş ve çıkış katmanları arasında bir veya daha fazla katman içeren ileri beslemeli bir sinir ağıdır. Temel olarak üç katman vardır: giriş katmanı, gizli katman ve çıkış katmanı. Gizli katman birden fazla olabilir. Her katmandaki her nöron (düğüm), bitişik katmanlardaki her nörona (düğüm) bağlıdır. Eğitim veya test vektörleri giriş katmanından verilir; gizli katmanda işlenir ve çıkış katmanından çıkış alınır (Gupta, 2015).

**RandomSubSpace (Rastgele Alt Boşluk):** Bu algoritma sınıflayıcılar topluluğunu oluşturmak için her bir giriş özniteliklerinin rastgele seçilmiş bir alt kümesini kullanan, karar ağacı tabanlı bir sınıflandırıcıdır. Algoritma öznitelik vektörünün alt kümelerinin boyutunu denetlemek için bir parametre üretmesinin yanında bir de tekrar sayısını ve kullanılacak rastgele adım sayısını sağlar.

**Random Committee (Rastgele Komite):** Bu algoritma, temel sınıflandırıcılar topluluğunu rastgele hale getirecek şekilde oluşturur ve tahminlerini değerlendirir. Her bir sınıflayıcı aynı verilere fakat farklı rastgele sayı çekirdeğini kullanır.

Tahmin sonucu her bir temel sınıflandırıcının ürettiği tahmin sonuçlarının bir ortalamasıdır.

**Decision Table (Karar Tablosu):** Bir karar tablosu sınıflandırıcısı oluşturan bir sınıflandırıcıdır. Karar tabloları tahmin için kullanılan sınıflandırma algoritmalarıdır. Bir karar tablosu, daha yüksek seviyeli bir tablodaki her girişin, başka bir tablo oluşturmak için bir çift ek öznitelik değerlerine bölündüğü, hiyerarşik bir tablodan oluşur.

**Random Tree (Rastgele Ağaç):** Bu sınıflandırma algoritması, bütün düğümler için, belirli sayıda rastgele özellikler dikkate alır ve bir ağaç oluşturur. Bu sınıflandırma algoritması budama yapmaz. Bunun yanında bir uzatma kümesine bağlı olarak sınıf olasılıklarının tahminine izin verme şansına da sahiptir.

**Random Forest (Rastgele Orman):** Rastgele ağaçlardan oluşan topluluklar kurarak rastgele ormanları kurar.

**Genetic Programming (Genetik Programlama):** Genetik Algoritmaların kodlanması ile oluşturulan programlardır. GP sınıflandırma için büyük bir potansiyel sunan; zor problemlerin çözümünde kullanılan evrimsel bir öğrenme tekniğidir. GP temsil biçimi olarak ağaç yapısını kullanır. Ağaç yapısında iç düğümler, işlevler ve operatörleri temsil ederken uç birimler değişkenleri ve sabitleri temsil ederler (Gupta, 2015).

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Veri Setleri

Bu çalışmada yazılım maliyet tahmini için çok sık kullanılan Albrecht, Finnish, Kemerer, Maxwell ve Miyazaki94 veri setleri kullanılmıştır. Bu veri setleri PROMISE veri deposundan temin edilmiştir. Fakat bu veri setlerinden Finnish veri setine PROMISE veri deposundan artık erişilememektedir (Bosu ve Macdonell, 2019). Tablo 1’de kullanılan veri setlerine ait bilgiler verilmiştir.

Tablo 1. Veri setleri bilgileri.

Veri Seti	Kayıt Sayısı	Öznitelik Sayısı	Boyut (ölçü birimi)	Maliyet (ölçü birimi)
Albrecht	24	8	Fonksiyon Noktası	Adam-Saat
Finnish	38	9	Fonksiyon Noktası	Adam-Saat
Kemerer	15	8	KSLOC	Adam-Ay
Maxwell	62	27	Fonksiyon Noktası	Adam-Saat
Miyazaki94	48	9	KSLOC	Adam-Ay

**Albrecht:** Albrecht veri seti, IBM veri işleme hizmetlerinde gerçekleştirilen projelerden toplanan 24 kayıttan oluşur. Projeler COBOL, PL/I ve DMS programlama dilleri kullanılarak geliştirilmiştir. Projelerin boyutu ve karmaşıklığı, Albrecht tarafından önerilen fonksiyon noktası yaklaşımı kullanılarak ölçülmüştür (Albrecht ve Gaffney, 1983).

**Finnish:** Finnish veri seti, TIEKE organizasyonu tarafından Finlandiya'daki dokuz firmadan toplanmıştır. Projelerin boyutu ve karmaşıklığı fonksiyon noktası yaklaşımı kullanılarak ölçülmüştür. Gerçekte bu veri seti 40 kayıttan ve 9 öznitelikten oluşmaktadır fakat içinde eksik değerlerin olduğu verilerin kaldırılması ile 38 kayıt kalmıştır (Kitchenham ve Kansala, 1993).

**Kemerer:** Kemerer veri seti (Kemerer, 1987), veri işleme yazılımı geliştiren bir Amerikan firmasından toplanmıştır. Bu veri seti sekiz özniteliğe sahip 15 projeden oluşmaktadır. Veri setindeki en eski proje 1981’de başlamış olup projelerin çoğu 1983’te başlamıştır. Veri setindeki proje verileri 1985’te toplanmıştır. Projelerin binlerce kaynak kod satırına dayalı olarak orta ila büyük boyutta oldukları belirtilmiştir. Projelerin boyutu KSLOC (Kilo Source Lines of Code – Bin Kaynak Kod Satırı) olarak ölçülmüştür (Bosu ve MacDonell, 2019).

**Maxwell:** Maxwell veri seti bir Fin ticarî bankasından toplanmıştır. 27 öznitelik ile temsil edilen 62 projeden oluşmaktadır (Maxwell, 2002). Projelerin başlangıç yılları 1985 ile 1993 yılları arasındadır.

**Miyazaki94:** Miyazaki94 veri seti, Fujitsu'nun Büyük Sistem Kullanıcıları Grubu tarafından toplanmıştır (Miyazaki vd., 1994). Veriler, 20 farklı kuruluşta ve bu kuruluşlardaki birden fazla bölümde geliştirilen 48 COBOL projesinden elde edilmiştir. Her proje için 9 öznitelik vardır.

## 2.2. Metot

Çalışmanın amacı, GP kullanılarak öznitelik seçiminin yazılım maliyet tahminine olan etkisinin araştırılmasıdır.

WEKA programı Yeni Zelanda'da bulunan Waikato Üniversitesindeki bir doktora öğrencisi tarafından geliştirilmiş olup elde edilen ham verilerin tanımlanması için kullanılmaktadır. WEKA programı, ham verileri sınıflandırma (classification), kümeleme (clustering), görselleştirme (visualize), bölütleme (segmentation), tahminleme (forecasting), veriler arasında ilişki kurma (associate), öznitelik seçimi (feature selection), veri ön işleme (pre-processing) gibi Makine Öğrenmesi ve Veri Madenciliği işlemlerini gerçekleştirebilecek algoritmaları barındırmaktadır (Witten vd., 2011). Bu program ayrıca GPL (General Public Licence – Genel Kamu Lisansı) lisansına sahip ücretsiz olarak kullanılan açık kaynaklı bir uygulamadır.

Yazılım projelerinin maliyet tahmini için WEKA programı kullanılmıştır. İlgili veri setlerine WEKA'da bulunan Gaussian Processes, Linear Regression, Multilayer Perceptron, RandomSubSpace, Random Committee, Decision Table, Random Tree, Random Forest ve Genetic Programming algoritmaları uygulanmıştır. Genetik Programming algoritması WEKA'nın 3.4.12 sürümünde çalıştırılmıştır. Ayrıca GeneticSearch algoritmasının Select attributes menüsünün altındaki Choose sekmesine eklenebilmesi için WEKA'nın ana penceresinde bulunan Tools menüsünden Package manager seçeneğinin tıklanarak GeneticSearch algoritmasının yüklenmesi gerçekleştirilmiştir.

Öznitelik seçiminin maliyet tahmine olan etkisini incelemek için geliştirilen metodoloji şu şekildedir: Veri setlerinde algoritmalar iki şekilde çalıştırılmıştır; ilkinde her hangi bir öznitelik seçimi yapılmadan ham veri seti üzerinden algoritmalar 10 kat çapraz doğrulama ile çalıştırılmış ve sonuçlar tablolaştırılmıştır; İkincisinde her bir veri setinde ilk önce Genetik Programlama uygulanarak öznitelik seçimi gerçekleştirilmiştir. Öznitelik seçimi sonrasında bazı öznitelikler veri setine dâhil edilmeyerek algoritmalar bu veri setleri üzerinde 10 kat çapraz doğrulama tekniği ile çalıştırılmış ve sonuçlar Tablo 2, Tablo 3, Tablo 4, Tablo 5 ve Tablo 6'da gösterilmiştir.

GP için farklı bir yöntem uygulanmıştır. Çünkü GP olasılıksal stokastik bir küresel arama algoritmasıdır; bu nedenle her popülasyonun her bireyinin, her yürütme sırasında arama alanı boyunca farklı bir yörünge gerçekleştirmesi ve popülasyonun çoklu (alt) optimal çözümlere yaklaşması beklenir. Bir GP'yi tekrar tekrar yürüterek bir dizi optimal çözüm toplanabilir. Bu çalışmada GP 15 defa çalıştırılarak, uygunluk değerine göre en uygun sonuç seçilmiştir. Bununla birlikte, ortalama değeri dikkate almak yanlıştır, çünkü benzer uygunluk değerine sahip iki alt optimal çözüm, tamamen farklı bir yapıya sahip olabilir, böylece ortalamaları arama uzayının uygun olmayan bir bölgesine karşılık gelebilir.

## 2.3. Performans Değerlendirmesi

### 2.3.1. Korelasyon Katsayısı (Correlation Coefficient)

Korelasyon, iki tesadüfi değişken arasındaki doğrusal ilişkinin gücünü ve yönünü belirtir. Korelasyon katsayısı negatif ise iki değişken arasında ters bir ilişki olduğu yani değişkenlerden biri artarken diğersinin azaldığı; korelasyon katsayısı pozitif ise değişkenler arasında doğrusal bir ilişki olduğu yani değişkenlerden biri artarken diğersinin de arttığı anlamına gelmektedir. Korelasyon katsayısının 0 olması ise iki değişken arasında herhangi bir ilişkinin olmadığını göstermektedir. Korelasyon katsayısı 1'e yaklaştıkça aradaki ilişkinin arttığı 0'a yaklaştıkça ise aradaki ilişkinin azaldığı anlaşılmaktadır.

### 2.3.2. MAE (Mean Absolute Error – Ortalama Mutlak Hata)

MAE, gerçek değer ile tahmin edilen değer arasındaki farkı bularak hata oranını hesaplamaktadır. Formülü Denk. (1)'de verilmiştir.

$$MAE = (|a_1 - c_1| + |a_2 - c_2| + \dots + |a_n - c_n|) / n \quad (1)$$

Burada  $c$  = tahmini değer,  $a$  = gerçek değer,  $n$  = örnek sayısı'dır.

### 2.3.3. RAE (Relative Absolute Error – Bağıl Mutlak Hata)

Gerçek değer ile hesaplama sonucu bulunan yaklaşık değer arasındaki farka mutlak hata denir. Bu farkların toplanıp gerçek değer ile gerçek değerlerin ortalaması arasındaki farkın toplamına bölünmesine bağıl mutlak hata denir. Formülü Denk. (2)'de verilmiştir.

$$E_j = \frac{\sum_{i=1}^n |P_{ij} - A_i|}{\sum_{i=1}^n |A_i - A_m|} \quad (2)$$

Burada  $P_{ij}$  =  $i$  veri noktası için veri kümesi  $j$  tarafından tahmin edilen değer.

$A_i$  = veri noktası için gerçek değer;

$n$  = toplam veri noktası sayısı;

$A_m$  = tüm  $A_i$ 'lerin ortalaması

İdeal durumda, pay sıfıra eşittir ve  $E_j = 0$ 'dır. Böylece  $E_j$  0'dan sonsuza kadar değişir (Prabhakar ve Dutta, 2013).

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Yazılım maliyet tahmini için PROMISE veri deposundan temin edilen Albrecht, Finnish, Kemerer, Maxwell ve Miyazaki94 hazır veri setleri kullanılmıştır. Bu veri setlerine WEKA programında bulunan Makine Öğrenmesi algoritmaları farklı senaryolarda uygulanarak performans değerleri korelasyon katsayısı, MAE ve RAE baz alınarak Tablo 2, Tablo 3, Tablo 4, Tablo 5 ve Tablo 6'da gösterilmiştir.

Albrecht veri setine WEKA programının select attributes menüsü altındaki CfsSubsetEval ile GeneticSearch algoritması uygulanarak öznitelik seçimi yapılmıştır. Öznitelik seçimi yapılmış veri setinde öznitelik sayısı 8'den 3'e düşürülmüştür. CfsSubsetEval ile GeneticSearch uygulanarak seçilen öznitelikler Output, Inquiry, RawFPcounts olmuştur. Bağımlı öznitelik olan Effort özniteligi de özniteliklere eklenerek öznitelik sayısı 4 olarak belirlenmiştir. Algoritmalar Albrecht veri seti üzerinde öznitelik seçimi yapılmadan ve öznitelik seçimi yapıldıktan sonra çalıştırılmış ve algoritmaların performans değerleri Tablo 2'de gösterilmiştir.



Tablo 2. Albrecht veri seti için öznitelik seçimi yapılmadan ve öznitelik seçimi yapıldıktan sonra farklı algoritmalar ile elde edilen yazılım maliyeti tahmin sonuçlarının karşılaştırılması.

Albrecht veri seti						
ALGORİTMALAR	Genetik Algoritma ile öznitelik seçimi yapılmamış			Genetik Algoritma ile öznitelik seçimi yapıldıktan sonra		
	Korelasyon katsayısı	MAE	RAE (%)	Korelasyon katsayısı	MAE	RAE (%)
Gaussian Processes	0,652	15,873	77,850	0,884	21,719	106,520
Linear Regression	0,906	8,995	44,116	0,928	8,272	40,571
Multilayer Perceptron	0,754	12,055	59,126	0,935	7,2164	35,392
RandomSubSpace	0,433	14,314	70,201	0,667	12,724	62,403
Random Comitee	0,961	5,881	28,847	0,947	5,901	28,945
Decision Table	0,693	9,944	48,773	0,689	9,915	48,629
Random Tree	0,471	13,458	66,007	0,863	9,279	45,512
Random Forest	0,940	7,682	37,679	0,958	6,311	30,953
Genetic Programming	0,859	11,378	15,791	0,903	15,277	74,927

Tablo 2 incelendiğinde, Albrecht veri seti üzerinde öznitelik seçimi yapılmadan önce en iyi performansı 0,961 korelasyon katsayısı, 5,881 MAE ve % 28,847 RAE hata payı ile Random Comitee algoritması sergilerken öznitelik seçimi yapıldıktan sonra en iyi performansı 0,958 korelasyon katsayısı, 6,311 MAE ve % 30,953 RAE hata payı ile Random Forest algoritmasının gösterdiği görülmüştür. Veri setine uygulanan algoritmalar arasından RandomSubSpace algoritması öznitelik seçimi yapılmadan önce ve öznitelik seçimi yapıldıktan sonra düşük korelasyon katsayısı, yüksek MAE ve RAE hata payları ile en kötü performansı sergilemiştir.

Finnish veri setine CfsSubsetEval ile GeneticSearch algoritması uygulanarak öznitelik sayısı 9'dan 4'e düşürülmüştür. Seçilen öznitelikler dev. eff. hrs, FP, prod, lnsiz olmuştur. Bağımlı öznitelik olan lneff özniteligi de özniteliklere eklenerek öznitelik sayısı 5 olarak belirlenmiştir. Algoritmalar, Finnish veri seti

üzerinde öznitelik seçimi yapılmadan önce ve öznitelik seçimi yapıldıktan sonra çalıştırılmış ve algoritmaların performans değerleri Tablo 3'te gösterilmiştir. Tablo 3 incelendiğinde, hem öznitelik seçimi yapılmadan önce hem de öznitelik seçimi yapıldıktan sonra yüksek korelasyon katsayısı ve düşük MAE, RAE hata payları ile en iyi performansı Random Forest algoritması göstermiştir. Finnish veri setinde Genetic Programming algoritması çok kötü bir performans sergilemiştir. Veri setinde öznitelik seçimi yapılmadan önce algoritmanın korelasyon katsayısı 0,228, MAE 1,554 ve RAE % 151,881 iken öznitelik seçimi yapıldıktan sonra korelasyon katsayısı 0,395, MAE 1,322 ve RAE % 129,192 olduğu gözlemlenmiştir. Genetic Programming algoritmasının performans değerleri diğer algoritmaların performans değerleri ile beraber incelendiğinde hem öznitelik seçiminden önce hemde öznitelik seçiminden sonra düşük korelasyon, yüksek MAE ve RAE hata oranları ile kötü bir performans sergilediği gözlemlenmiştir.

Tablo 3. Finnish veri seti için öznitelik seçimi yapılmadan ve öznitelik seçimi yapıldıktan sonra farklı algoritmalar ile elde edilen yazılım maliyeti tahmin sonuçlarının karşılaştırılması

Finnish veri seti						
ALGORİTMALAR	Genetik Algoritma ile öznitelik seçimi yapılmamış			Genetik Algoritma ile öznitelik seçimi yapıldıktan sonra		
	Korelasyon katsayısı	MAE	RAE (%)	Korelasyon katsayısı	MAE	RAE (%)
Gaussian Processes	0,859	0,569	55,616	0,8443	0,588	57,520
Linear Regression	0,960	0,254	24,826	0,960	0,254	24,826
Multilayer Perceptron	0,957	0,229	22,446	0,985	0,137	13,446
RandomSubSpace	0,923	0,375	36,670	0,945	0,294	28,779
Random Comitee	0,979	0,174	17,038	0,992	0,107	10,475
Decision Table	0,878	0,380	37,152	0,878	0,380	37,152
Random Tree	0,902	0,365	35,713	0,992	0,107	10,475
Random Forest	0,981	0,164	16,114	0,994	0,097	9,535
Genetic Programming	0,228	1,554	151,881	0,395	1,322	129,192

Kemerer veri setine CfsSubsetEval ile GeneticSearch algoritması uygulanarak öznitelik sayısı 8'den 4'e düşürülmüştür. Seçilen öznitelikler ID, Language, KSLOC, AdjFP olmuştur. Bağımlı öznitelik olan EffortMM özniteligi de özniteliklere eklenerek öznitelik sayısı 5 olarak belirlenmiştir. Algoritmalar, veri seti üzerinde öznitelik seçimi yapılmadan ve öznitelik seçimi yapıldıktan sonra çalıştırılmış ve algoritmaların performans değerleri Tablo 4'te gösterilmiştir. Tablo 4 incelendiğinde, öznitelik seçimi yapılmadan önce ve öznitelik seçimi yapıldıktan

sonra Genetic Programming algoritmasının diğer algoritmalarla göre yüksek korelasyon katsayısı, düşük MAE ve RAE hata oranları ile en iyi performansı sergilediği gözlemlenmiştir. Kemerer veri setine uygulanan algoritmalar arasından Random Tree algoritmasının öznitelik seçimi yapılmadan önce -0,027 korelasyon katsayısı, 250,913 MAE ve % 155,911 RAE hata oranı ile en kötü performansı sergilediği; öznitelik seçimi yapıldıktan sonra en kötü performansı ise -0,037 korelasyon katsayısı,

148,196 MAE ve % 92,085 RAE hata payı ile RandomSubSpace algoritmasının sergilediği görülmüştür.

Maxwell veri setine CfsSubsetEval ile GeneticSearch algoritması uygulanarak öznelik sayısı 27'den 19'a düşürülmüştür. Seçilen öznelikler Syear, App, Har, Db, Source, T01, T02, T04, T06, T07, T08, T09, T10, T11, T13, T14, Duration, Size, Time olmuştur. Bağımlı öznelik olan Effort özneliği de özneliklere eklenerek öznelik sayısı 20 olarak belirlenmiştir. Algoritmalar, veri seti üzerinde öznelik seçimi yapılmadan ve öznelik seçimi yapıldıktan sonra çalıştırılmış ve algoritmaların performans değerleri Tablo 5'te gösterilmiştir. Tablo 5 incelendiğinde, öznelik seçimi yapılmadan önce ve öznelik seçimi yapıldıktan sonra Linear Regression algoritmasının diğer algoritmalarla göre yüksek korelasyon katsayısı, düşük MAE ve RAE hata oranları ile en iyi performansı sergilediği gözlemlenmiştir. En kötü performansı ise düşük korelasyon katsayısı, yüksek MAE ve RAE hata oranları ile Decision Table algoritmasının gösterdiği görülmüştür.

Miyazaki94 veri setine CfsSubsetEval ile GeneticSearch algoritması uygulanarak öznelik sayısı 9'dan 3'e düşürülmüştür. Seçilen öznelikler KLOC, FORM, FILE olmuştur. Bağımlı öznelik olan MM özneliği de özneliklere eklenerek öznelik sayısı 4 olarak belirlenmiştir. Algoritmalar, veri seti üzerinde öznelik seçimi yapılmadan ve öznelik seçimi yapıldıktan sonra çalıştırılmış ve algoritmaların performans değerleri Tablo 6'da gösterilmiştir. Tablo 6 incelendiğinde, öznelik seçimi yapılmadan önce en iyi performansı 0,757 korelasyon katsayısı, 38,001 MAE ve % 101,039 RAE hata oranı ile Genetic Programming algoritması göstermiştir. Öznelik seçimi yapıldıktan sonra ise en iyi performansı 0,783 korelasyon katsayısı, 21,977 MAE ve % 58,435 RAE hata oranı ile Random Forest algoritmasının sunduğu görülmüştür. Veri setine uygulanan Decision Table algoritması hem öznelik seçiminden önce hemde öznelik seçiminden sonra 0,131 korelasyon katsayısıyla en düşük performansı sergilemiştir.

Tablo 4. Kemerer veri seti için öznelik seçimi yapılmadan ve öznelik seçimi yapıldıktan sonra farklı algoritmalar ile elde edilen yazılım maliyeti tahmin sonuçlarının karşılaştırılması.

Kemerer veri seti						
ALGORİTMALAR	Genetik Algoritma ile öznelik seçimi yapılmamış			Genetik Algoritma ile öznelik seçimi yapıldıktan sonra		
	Korelasyon katsayısı	MAE	RAE (%)	Korelasyon katsayısı	MAE	RAE (%)
Gaussian Processes	0,240	173,476	107,793	0,270	161,166	100,145
Linear Regression	0,369	173,240	107,647	0,342	190,216	118,195
Multilayer Perceptron	0,351	129,458	80,442	0,327	150,462	93,493
RandomSubSpace	0,024	144,782	89,963	-0,037	148,196	92,085
Random Committee	0,325	142,710	88,676	0,186	169,009	105,018
Decision Table	0,102	144,995	90,096	0,302	176,223	109,500
Random Tree	-0,027	250,913	155,911	0,329	163,931	101,862
Random Forest	0,353	129,056	80,192	0,292	143,935	89,437
Genetic Programming	0,529	207,073	128,670	0,650	140,451	87,273

Tablo 5. Maxwell veri seti için öznelik seçimi yapılmadan ve öznelik seçimi yapıldıktan sonra farklı algoritmalar ile elde edilen yazılım maliyeti tahmin sonuçlarının karşılaştırılması.

Maxwell veri seti						
ALGORİTMALAR	Genetik Algoritma ile öznelik seçimi yapılmamış			Genetik Algoritma ile öznelik seçimi yapıldıktan sonra		
	Korelasyon katsayısı	MAE	RAE (%)	Korelasyon katsayısı	MAE	RAE (%)
Gaussian Processes	0,783	3925,049	62,473	0,787	3933,870	62,613
Linear Regression	0,808	4157,589	66,174	0,854	3395,066	54,037
Multilayer Perceptron	0,764	4764,378	75,832	0,816	4146,309	65,995
RandomSubSpace	0,669	4734,964	75,364	0,647	4700,819	74,821
Random Committee	0,787	3991,499	63,531	0,692	4238,346	67,460
Decision Table	0,313	5355,558	85,242	0,417	5060,946	80,553
Random Tree	0,569	5686,967	90,517	0,589	5211,558	82,950
Random Forest	0,761	3998,217	63,638	0,762	3827,568	60,921
Genetic Programming	0,618	7700,821	122,570	0,450	8906,493	141,761

Tablo 6. Miyazaki94 veri seti için öznitelik seçimi yapılmadan ve öznitelik seçimi yapıldıktan sonra farklı algoritmalar ile elde edilen yazılım maliyeti tahmin sonuçlarının karşılaştırılması.

Miyazaki94 veri seti						
ALGORİTMALAR	Genetik Algoritma ile öznitelik seçimi yapılmamış			Genetik Algoritma ile öznitelik seçimi yapıldıktan sonra		
	Korelasyon katsayısı	MAE	RAE (%)	Korelasyon katsayısı	MAE	RAE (%)
Gaussian Processes	0,523	40,605	107,963	0,625	40,133	106,709
Linear Regression	0,292	35,355	94,005	0,752	25,096	66,726
Multilayer Perceptron	0,704	23,149	61,551	0,519	39,596	105,280
RandomSubSpace	0,478	32,952	87,616	0,717	25,341	67,380
Random Comittee	0,605	28,591	76,021	0,702	26,861	71,421
Decision Table	0,131	36,197	96,243	0,131	35,032	93,146
Random Tree	0,181	40,931	108,830	0,612	32,005	85,096
Random Forest	0,674	29,924	79,565	0,783	21,977	58,435
Genetic Programming	0,757	38,001	101,039	0,629	46,798	124,430

#### 4. Sonuç

Bu çalışmanın amacı PROMISE veri deposundan alınan eski yazılım proje verilerinin tutulduğu Albrecht, Finnish, Kemerer, Maxwell ve Miyazaki94 veri setlerinde Genetik Algoritma kullanarak öznitelik seçiminin yapılması ve öznitelik seçiminin yazılım maliyet tahminine olan etkisinin araştırılmasıdır.

Bu çalışmada yazılım maliyet tahmini için Makine Öğrenmesi algoritmaları test edilmiştir. Bunun için WEKA aracında bulunan Gaussian Processes, Linear Regression, Multilayer Perceptron, RandomSubSpace, Random Comittee, Decision Table, Random Tree, Random Forest ve Genetic Programming algoritmaları kullanılmıştır. Algoritmalar ilgili veri setleri için iki şekilde çalıştırılmıştır. İlk önce ham veri seti üzerinde çalıştırılan algoritmalar, daha sonra veri setlerine öznitelik seçimi yapılarak tekrar çalıştırılmıştır. Algoritmaların performans değerleri Tablo 2, Tablo 3, Tablo 4, Tablo 5 ve Tablo 6 da gösterilmiştir. Tablolar incelendiğinde Genetik Algoritma kullanarak veri setleri üzerinde öznitelik seçiminin yapılması Makine Öğrenmesi algoritmalarının performans değerlerini dikkat çekici şekilde iyileştirmiştir. Bu çalışmada ayrıca WEKA'nın eski sürümünde bulunan Genetic Programming algoritması da yazılım maliyet tahmini için kullanılmıştır. Analiz sonuçları incelendiğinde Genetic Programming algoritmasının yazılım maliyet tahmininde başarılı bir şekilde kullanılabilindiği gözlemlenmiştir.

Tablo 2'de performans değerlerine bakıldığında, en iyi performansın 0,961 korelasyon katsayısı ve 5,881 MAE hata payı ile Random Comittee algoritması tarafından elde edildiği görülmüştür. Veri seti üzerinde öznitelik seçimi yapıldıktan sonra en iyi tahmin sonucunu 0,958 korelasyon katsayısı ve 6,311 MAE hata payı ile Random Forest algoritması bulmuştur. Albrecht veri setinde 0,433 korelasyon katsayısı ve 14,314 MAE hata payı ile en kötü tahmini yapan RandomSubSpace algoritmasının öznitelik seçiminden sonra korelasyon katsayı 0,667'ye yükselmiş ve MAE hata payı da 12,724'e düşmüştür.

Finnish veri setinde en iyi tahmin sonucunu 0,981 korelasyon katsayısı ve 0,164 MAE hata payı ile Random Forest algoritması bulmuştur. Veri seti üzerinde öznitelik seçimi yapıldıktan sonra korelasyon katsayısı 0,994'e yükselmiş ve MAE hata payı da 0,097'ye düşmüştür. Finnish veri setinde 0,228 korelasyon katsayısı ve 1,554 MAE hata payı ile en kötü tahmini yapan

Genetic Programming algoritması olmuştur. Veri seti üzerinde öznitelik seçimi yapıldıktan sonra algoritmanın korelasyon katsayı 0,395'e yükselmiş, MAE hata payı 1,322'ye düşmüştür.

Kemerer veri setine uygulanan Makine Öğrenmesi algoritmaları incelendiğinde en iyi performansı 0,529 korelasyon katsayısı ve 207,073 MAE hata payı ile Genetic Programming algoritması göstermiştir. Öznitelik seçimi yapıldıktan sonra korelasyon katsayı 0,650'a yükselmiş, MAE hata payı 140,451'e düşmüştür. Kemerer veri setinde en kötü tahmin sonucunu öznitelik seçiminden önce -0,027 korelasyon katsayısı ve 250,913 MAE hata payı ile Random Tree algoritması, öznitelik seçiminden sonra -0,037 korelasyon katsayısı ve 148,196 MAE hata payı ile RandomSubSpace algoritması bulmuştur.

Linear Regression algoritması Maxwell veri setinde yazılım maliyet tahmini için en iyi performansı göstermiştir. Veri setinde iki şekilde çalıştırılan algoritma ham veri seti üzerinde 0,808 korelasyona katsayısı ile çalışırken öznitelik seçimi yapıldıktan sonra korelasyon katsayısı 0,854'e yükselmiştir. En kötü tahmin sonucunu bulan algoritma 0,313 korelasyon katsayısı ile Decision Table algoritması olmuştur. Veri seti üzerinde öznitelik seçimi yapıldıktan sonra algoritmanın korelasyon katsayısı 0,417'ye yükselmiştir.

Miyazaki94 veri setine yazılım maliyet tahmini için uygulanan Makine Öğrenmesi algoritmalarının performans değerleri incelendiğinde en iyi tahmini gerçekleştiren 0,757 korelasyon katsayısı ve 38,001 MAE hata payı ile Genetic Programming algoritması olmuştur. Veri seti üzerinde öznitelik seçimi yapıldıktan sonra en iyi performansı gösteren algoritma 0,783 korelasyon katsayı ve 21,977 MAE hata payı ile Random Forest algoritması olmuştur. 0,131 korelasyon katsayısı ile Decision Table algoritması veri setine uygulanan öznitelik seçiminden önce ve öznitelik seçiminden sonra en kötü performansı sergilemiştir.

Yazılım projelerinin maliyet tahmini için kullanılan yöntemlerden herhangi birinin diğerinden daha üstün olduğunu söylemek çok doğru bir yaklaşım değildir (Kumari ve Pushkar, 2013). Bu çalışma ile yazılım maliyet tahmini için kullanılan Makine Öğrenmesi algoritmalarından herhangi birisinin her zaman en iyi sonucu üretmediği ispatlanmıştır. Yazılım maliyet tahmini için kullanılan Makine Öğrenmesi algoritmaları uygulandıkları veri setlerine göre performans değerleri değişmektedir. Bu çalışmanın sonucunda elde edilen performans

değerleri incelendiğinde Genetic Programming algoritmasının, kullanılan diğer Makine Öğrenmesi algoritmalarına göre Kemerer veri seti üzerinde en iyi performansı seğilerken Finnish veri seti üzerinde en kötü performansı sergilediği gözlemlenmiştir.

Yazılım projelerinin maliyet tahmini için oldukça fazla literatür çalışması mevcuttur. Bu çalışmaların çoğunda kullanılan hazır veri setleri üzerinde herhangi bir öznitelik seçimi yapılmadan yazılım maliyet tahmini gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada veri setlerine WEKA programının select attributes menüsü altındaki CfsSubsetEval ile GeneticSearch algoritması uygulanarak öznitelik seçimi yapılmıştır. Kullanılan veri setleri üzerinde öznitelik seçimi yapılmadan ve öznitelik seçimi yapıldıktan sonra yazılım maliyet tahmini gerçekleştirilmiştir. Yazılım projelerinin maliyet tahmini için kullanılan hazır veri setleri üzerinde öznitelik seçimi yapılarak yazılım maliyet tahmininin gerçekleştirilmesi genel olarak tahmin sonuçlarının doğruluk oranlarını artırmıştır. Bu çalışma sayesinde öznitelik seçiminin yazılım maliyet tahminine olan etkileri incelenmiş ve bir veri deposundan temin edilen hazır veri setlerinin kullanılmadan önce öznitelik seçiminin yapılp o şekilde ilgili algoritmalarda kullanılmasının doğruluk oranlarını artıracağı bilgisine ulaşılmıştır.

Gelecek çalışmalarda güncel yazılım projelerinin veri setleri üzerinde farklı öznitelik seçimi yöntemleri kullanılarak yazılım maliyet tahmini gerçekleştirilmesi planlanmaktadır.

## Kaynakça

Abe, S., Thawonmas, R. and Kobayashi, Y., 1998, *Feature selection by analyzing class regions approximated by ellipsoids*, IEEE Trans. On Systems, Man, and Cybernetics-Part C: Applications and Reviews, 28(2), 282 – 287.

Albrecht, A. J., Gaffney, J. E., 1983, *Software function, source lines of code, and development effort prediction: a software science validation*. IEEE Trans. Softw. Eng. 9, 6 (1983), 639.

Ayyıldız, M., 2007, *Yazılım Projeleri Ölçüm Sonuçları Veri Tabanının Oluşturulması ve Yeni Yazılım Projelerinin Maliyet Tahmininde Kullanımı*, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Başkeleş, B., Turhan, B., Bener, A., 2007, *Software Effort Estimation Using Machine Learning Methods*, Computer and information sciences, Ankara, IEEE.

Bishop, C. M., 2006, *Pattern recognition and machine learning*, Springer, New York.

Bosu, M.F., Macdonell, S.G., 2019, *Experience: Quality Benchmarking of Datasets Used in Software Effort Estimation*, ACM Journal of Data and Information Quality, 11(4), 1 – 38.

Budak, H., 2018, *Özellik Seçim Yöntemleri ve Yeni Bir Yaklaşım*, Süleyman Demirel Üniversitesi Dergisi.

Burgess, C.J., Lefley, M., 2001, *Can Genetic Programming Improve Software Effort Estimation? A Comparative Evaluation*, Information and Software Technology, 43, 863.

Caudill, M., 1987, *Neural networks primer*, J. AI Expert, 2(12), 46 – 52.

Demirörs, O., 2011, *Yazılım Kestirimi İçin Referans Veri Kümesi Ve Süreç Odaklı Bir Yöntem*, 5. Ulusal Yazılım Projeleri Sempozyumu-UYMS.

Diri, B., 2014, *Makine Öğrenmesine Giriş*, Ders Notları, [https://www.siskon.com.tr/dosya/PDF/Makale/Makina\\_Ogrenmesi.pdf](https://www.siskon.com.tr/dosya/PDF/Makale/Makina_Ogrenmesi.pdf), [Ziyaret Tarihi: 24.06.2021].

Ebren Kara, Ş., Şamlı, R., 2021, *Yazılım Projelerinin Maliyet Tahmini için WEKA'da Makine Öğrenmesi Algoritmalarının Karşılaştırmalı Analizi*, Avrupa Bilim ve Araştırma Dergisi, 23, 415 – 426.

Gupta, A., 2015, *Classification Of Complex UCI Datasets Using Machine Learning And Evolutionary Algorithms*, International Journal Of Scientific & Technology Research, 4(5), 85 – 94.

Güven Aydın, Z. B. 2021, *Makine Öğrenmesi Yöntemleri İle Yazılım Hata Tahmini*, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Lisansüstü Eğitim Fakültesi.

Hall, Mark A., 1999, *Correlation-based Feature Selection for Machine Learning*, Doktora Tezi, University of Waikato, Department of Computer Science.

Huang, D., Chow, T. W. S., 2005, *Efficiently searching the important input variables using Bayesian discriminant*. IEEE Trans. on Circuits and Systems-I: Regular Papers, 52(4), 785.

Kaluza, B., 2016, *Machine Learning in Java*, Pact Publishing.

Kemerer, C.F., 1987, *An Empirical Validation Of Software Cost Estimation Models*. Commun. ACM 30, 5(1987), 416–429.

Kitchenham B., Kansala. K., 1993, *Inter-item correlations among function points*. International Conference on Software Engineering. 229 – 238.

Kubat, C., 2014, *Matlab Yapay Zeka ve Mühendislik Uygulamaları*, 2. Baskı, Pusula Yayınları, İstanbul, ISBN: 978-605-5106-12 – 6.

Kumari, S. ve Pushkar, S. 2013, *Performance Analysis of the Software Cost Estimation Methods: A Review*, International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering, 229 –238.

Maxwell, K., 2002, *Applied Statistics for Software Managers*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs.

Mitchell, T. M., 1997, *Machine Learning*, McGraw-Hill and MIT Press.

Miyazaki, Y., Terakado, M., Ozaki, K., Nozaki, H., 1994, *Robust Regression For Developing Software Estimation Models*. J. Syst. Softw. 27, 13 – 16.

Moghaddam, S.A.V., 2014, *Etkin Sınıflandırma İçin Genetik Algoritma Tabanlı Öznitelik Alt Küme Seçimi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Nabiyev, V. V., 2016, *Yapay Zeka*, 5. Baskı, Seçkin Yayınları, Ankara, ISBN: 978-975-02-3727-0.

Prabhakar, Dutta, M., 2013, *Application Of Machine Learning Techniques For Predicting Software Effort*, Elixir Comp. Sci. & Engg., 56, 13677 – 13682.

Shan, Y., McKay, C.J., Essam, D.L., 2002, *Software Project Effort Estimation Using Genetic Programming*, International Conference on Communications Circuits and Systems.

Singh B.K., Misra, A.K., 2012, *Software Effort Estimation by Genetic Algorithm Tuned Parameters of Modified Constructive Cost Model for NASA Software Projects*, International Journal of Computer Applications, 59(9).

Soleimanian, F., Rezaii, R., Arasteh, B., 2015, *A New Approach by Using Tabu Search and Genetic Algorithms in Software Cost Estimation*, International Conference on Application of Information and Communication Technologies.

Tran, B., Xue, B., Zhang, M., 2015, *Genetic programming for feature construction and selection in classification on high-dimensional data*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg: Regular Papers, 8, 3–15.

Wikipedi, 2020, *Korelasyon*, [Korelasyon – Wikipedi https://tr.wikipedia.org/wiki/Korelasyon](https://tr.wikipedia.org/wiki/Korelasyon).

Yücalar, F., 2011, *Use-Case Tabanlı Yazılım Emek Kestirim Modeli*, Doktora Tezi, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.



## Sediment Yield Analysis in Tahtaköprü Dam Basin

Şerife Pınar Güvel<sup>1\*</sup>, Mehmet Ali Akgül<sup>2</sup>, Hakan Aksu<sup>3</sup>

<sup>1\*</sup> General Directorate of State Hydraulic Works, 6th Regional Directorate, Department of Information Technologies, Adana, Turkey, (ORCID: 0000-0002-3175-5938), [spinar.guvel@dsi.gov.tr](mailto:spinar.guvel@dsi.gov.tr)

<sup>2</sup> General Directorate of State Hydraulic Works, 6th Regional Directorate, Department of Information Technologies, Adana Turkey, (ORCID: 0000-0002-5517-9576), [mali.akgul@dsi.gov.tr](mailto:mali.akgul@dsi.gov.tr)

<sup>3</sup> Samsun University, Faculty of Aeronautics and Astronautics, Department of Meteorological Engineering, Samsun, Turkey, (ORCID: 0000-0003-4686-7446), [hakan.aksu@samsun.edu.tr](mailto:hakan.aksu@samsun.edu.tr)

(First received 27 August 2021 and in final form 18 November 2021))

(DOI: 10.31590/ejosat.987725)

**ATIF/REFERENCE:** Güvel, Ş.P., Akgül, M.A. & Aksu, H. (2021). Sediment Yield Analysis in Tahtaköprü Dam Basin. *European Journal of Science and Technology*, (27), 995-1002.

### Abstract

The determination of the volume of water to be stored is one of the most important criteria for dam and pond planning and operation. This amount is calculated locally prior to planning studies, and a bathymetric map is created following water storage in the reservoir. Because of sedimentation during the operation period, the volume of the reservoir decreases over time, and this situation appears as a problem in the operation of the water structure. In this study, the reservoir storage volume changes and reservoir sediment accumulation rates between the locally produced map before the construction of Tahtaköprü Dam and the hydrographic survey maps prepared during operation period were investigated by using GIS modules. It was determined that the decrease in the storage volume of the dam reservoir at the maximum water level by 9.15% and at the minimum water level by 51.90% was due to sediment accumulation. The effect of the changes in the land cover and forest area in the basin on reservoir sedimentation was examined and it was found that land cover and forest area in the basin have reduced sediment accumulation in the reservoir. Furthermore, sediment thickness change was mapped to compare the decrease in the storage volume capacity of the reservoir at the maximum water level and at the minimum water level by comparing the digital elevation models of 1962, 1980 and 2014 to support the decision-makers on determining reservoir operation rules in order to benefit water resources effectively within the scope of sustainable management of water resources.

**Keywords:** Geographic information system, sediment accumulation, Tahtaköprü Dam, water resources management.

## Tahtaköprü Baraj Havzasında Sediment Verim Analizi

### Öz

Baraj ve göletlerin planlanmasında ve işletilmesindeki en önemli kriterlerden bir tanesi depolanacak su hacminin tespitidir. Bu miktar planlamadan önce yersel olarak, baraj ve gölet su tutulmasından sonra ise batimetrik harita yapılarak hesaplanmaktadır. İşletme süresince, baraj rezervuarına gelen sedimentasyon kaynaklı olarak bu hacim zamanla azalmakta, bu durum su yapısının işletilmesinde sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu çalışmada, Tahtaköprü Baraj rezervuarında baraj inşaatından önce hazırlanan yersel harita ile hidrografik harita yapım yılları arasında rezervuar depolama hacmi değişimi CBS modülleri aracılığı ile hesaplanmıştır. Baraj rezervuarında depolama hacminde maksimum su seviyesinde %9,15, minimum su seviyesinde %51,90 oranında azalmanın sediment birikiminden kaynaklandığı belirlenmiştir. Havzadaki arazi örtüsü ve orman alanındaki değişimlerin rezervuar sediment birikimine etkisi incelenmiş ve arazi örtüsü ve orman alanlarının rezervuardaki sediment birikimini azalttığı tespit edilmiştir. Ayrıca sürdürülebilir su kaynakları yönetimi kapsamında su kaynaklarından etkin olarak yararlanabilmek için, rezervuar işletme kurallarının belirlenmesinde karar vericileri desteklemek amacıyla, maksimum ve minimum su seviyelerinde rezervuar depolama hacimlerindeki azalmanın kıyaslanması için, 1962, 1980 ve 2014 yılları sayısal arazi modelleri karşılaştırılarak sediment kalınlık haritaları hazırlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Coğrafi bilgi sistemi, sediment birikimi, Tahtaköprü Barajı, su kaynakları yönetimi.

\* Corresponding Author: [spinar.guvel@dsi.gov.tr](mailto:spinar.guvel@dsi.gov.tr)

## 1. Introduction

Sustainability in water resources planning and management works is a necessity to meet the needs of future generations. The commissioning of engineering projects by using new technologies are of great importance for efficient use of water due to the necessity caused by the rapid increase in the world's population and global climate change effects. Only 2.5 % of the 1,4 billion km<sup>3</sup> of water in the world is in the form of fresh water (DSİ, 2018). Water resources data whether obtained by measurements and observations on ground or remote sensing techniques can be used for assessment of spatial and temporal changes. Reliable databases are capable of, not only providing geographic analysis results but also able to generate future projections to support decision makers at water management policies. In recent years, analysis based on georeferenced data give reliable results in natural resources management. Some of preference reasons for using the Geographic Information System (GIS) are easy access to data, graphical representation possibilities, facilitating assessment of temporal and spatial properties of historical data, and the ability to integrate with many other applications. In recent years paper maps are transferred in to GIS environment by georeferencing tools and digitization processes. By integration of computer-aided design based projects into information systems, generation of high accuracy digital models is commonly available in computer environment today. GIS technologies have been used in hydrology for many different areas such as surface flow estimations, groundwater quality mapping, flood mapping etc. (Cebe and Inan, 2020; Soyaslan and Hepdeniz, 2020; Hazir et al., 2016).

Dam projects need large amount of investment and also engineering and construction works. In order to keep the benefits at the highest level, bathymetric measurements are carried out to monitor the reservoir storage capacities during the operation of the dams. Bathymetric measurements also effect dam operation policies and have great importance in terms of dam safety. The volume of the stored water in a dam can be estimated by using bathymetric maps.

Study of bathymetric measurements in the GIS allows for the investigation of changes in the bottom topography of reservoir areas, the determination of accumulated sediments transported by rivers from the upper basin and the determination of sedimentation increase in the total storage volumes.

As regards to its importance on dam operation and recent developments on GIS technology, many studies were conducted on bathymetric assessment of reservoir sedimentation. Reservoir sedimentation was investigated in Seyhan Dam reservoir (Güvel and Yurtal, 2020), in Berdan Dam reservoir (Güvel et al., 2017), in Aswan High Dam reservoir (El-Sersawy, 2005). The level-area-volume relation was calculated by using bathymetric measurements in the Ruiru reservoir (Sang et al., 2017).

The changes in the reservoir storage capacity between 1981 and 2009 in Altınapa Dam reservoir were investigated using bathymetric and topographic data, the results showed that the reservoir storage capacity decrease by 12.4% in a period of 28 years due to sediment accumulation, and the storage volume decreased by 33.4% comparing the storage volume of 2009 with the storage volume of 1967 when the dam was built (Ceylan et al., 2011). The changes in the storage capacity of the Vel'ká Kolpašská reservoir for 123 years (1889-2012) were examined and the land

cover changes in the coastline for 63 years (1949-2012); and found that the deposited sediment in 123 years reduced the storage capacity by 7.23% (Kubinský et al., 2014). Bathymetric study and volumetric analysis were presented for Suleja Dam in Nigeria, the decrease in surface area, volume and water depth was examined considering the dam design information and detected a decrease in volume of  $3,6 \times 10^6 \text{ m}^3$  (Samaila-Ija et al., 2014).

Volume and sediment deposition rates in the reservoir for 2011 on the Torata River in the Andes of Peru were calculated with TIN (Triangular Irregular Network) and IMP (Insertion of Mesh Points) methods by using topographic data and bathymetric measurements, the results were compared both proportionally and by mapping (Estigoni et al., 2014). Three-dimensional model of the Kainji Dam reservoir was prepared which is put into operation in 1968 and located on the Niger river in Nigeria, reservoir volume and flow direction were determined (Ehigiator et al., 2017). Sediment distribution in the Ujjani Dam reservoir in India was investigated by evaluating two empirical methods, and compared the volume-height graphs of the reservoir with the original values (Tukaram et al., 2016). Sedimentation in the Hasanlar Dam reservoir was examined by using bathymetric data, GIS and remote sensing techniques, it was stated that the storage loss between 1974 and 1999 was 24% in the reservoir active volume and 26% between 1974 and 2014 (Darama et al., 2019). Sediment accumulation volume was investigated to define the sedimentation regime and to calculate the reservoir life in the Kalimanci Dam reservoir which was built in 1969 in Macedonia for the period between 1969 and 2013 (Mincev et al., 2019). SWAT (Soil and Water Assessment Tool) model has been used to evaluate sedimentation at Vaigai Reservoir in India (Ninija Merina et al., 2019).

Sedimentation in the Tri An HEPP (Hydroelectric Power Plant) reservoir located in the Dong Nai basin in Vietnam was investigated by using land use factors in the basin; as a result of the study, it has been determined that the reservoir sedimentation will increase by 8-9% annually as a result of a 10% decrease in forest areas (Loi, 2020) The effects of climate and land use changes on hydrological processes and sediment yield in the Be river basin in Vietnam was assessed by using SWAT (Soil and Water Assessment Tool); as a result of their study, they found that deforestation increases annual flow by 1.2% and sediment load by 11.3% (Khoi and Suetsugi, 2014). The changes on water discharge and sediment load of Feiyun River into the sea in China were analyzed by using observation data of runoff and sediment at Xuekou station, which is the main control station, in the main channel; as a result a good peak-valley correlation was found between the two (Lu et al., 2017). In the study conducted by İmamoğlu (2020), the relationship between morphometric features and erosion in the Alaca Stream Basin was investigated.

In this study, the storage volume capacity changes and sediment distribution in the Tahtaköprü Dam reservoir were investigated between 1962 and 2014 within the scope of water resources management. The reservoir area map locally prepared before the construction of the Tahtaköprü Dam reservoir, bathymetric survey maps of 1980 and 2014 of the reservoir were used to generate reservoir digital elevation models and to calculate the total storage capacity volume.

## 2. Material and Method

### 2.1. Material

The reservoir area of Tahtaköprü Dam has been selected as the study area. Tahtaköprü Dam is located in northeast of Hassa in Hatay City, in the southern part of Turkey, was constructed on Karasu River, was put into operation in 1977 (Figure 1). Tahtaköprü Dam was built for irrigation and energy purposes; during the rehabilitation of the dam, crest was raised 9 meters. Tahtaköprü Dam characteristics are given in Table 1.

Table 1. Tahtaköprü Dam characteristics

Characteristics	Data
River	Karasu river
Dam type	Earth fill
Purpose	Irrigation and energy
Date put into operation	1977
Crest elevation	417,00 m

In this study, standard topographic maps produced by photogrammetric method in 1962 by General Directorate of Mapping and bathymetric survey maps prepared in 1980 and in 2014 by State Hydraulic Works were used. ArcGIS software was used to analyse digital elevation models of Tahtaköprü dam reservoir area in GIS environment.

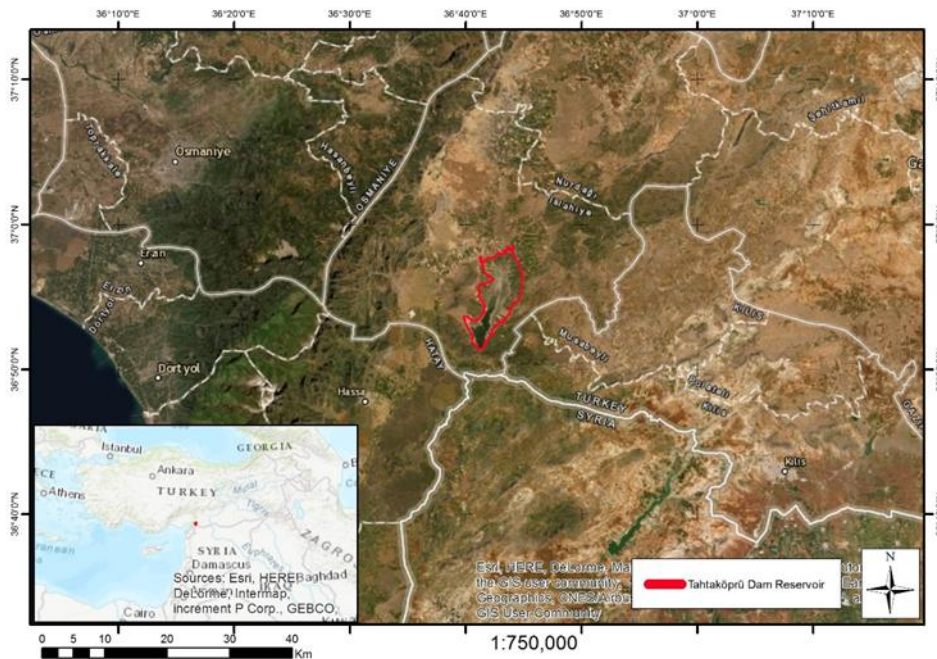


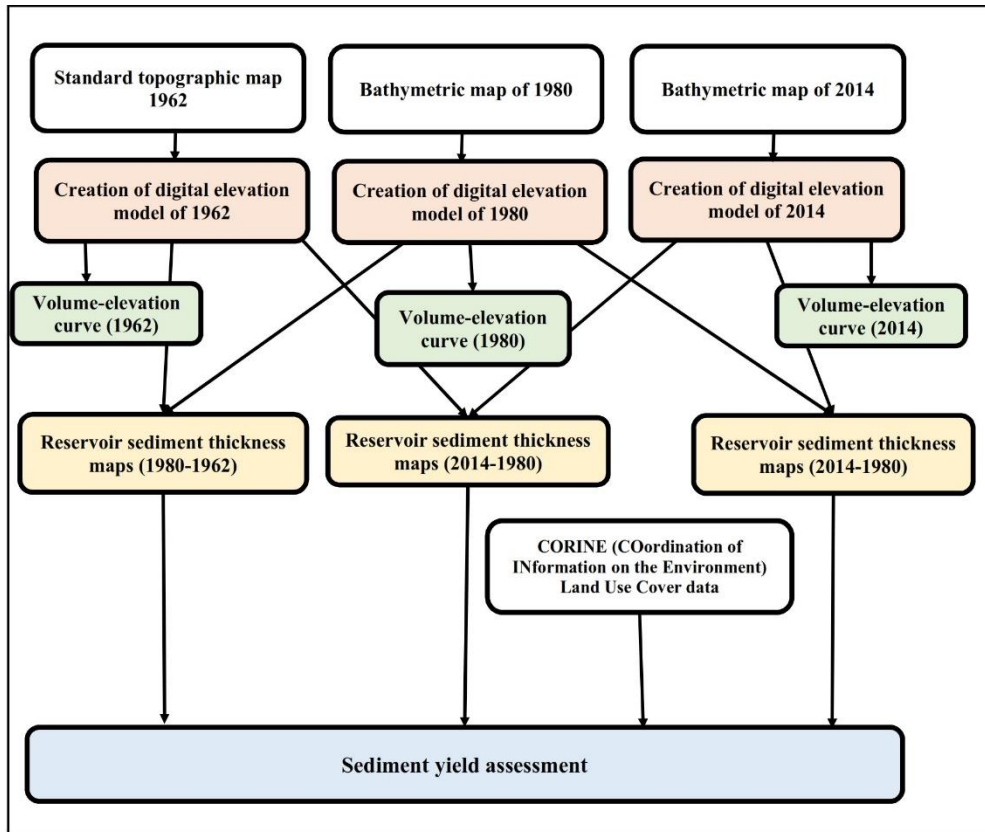
Figure 1. The location of Tahtaköprü Dam

### 2.2. Method

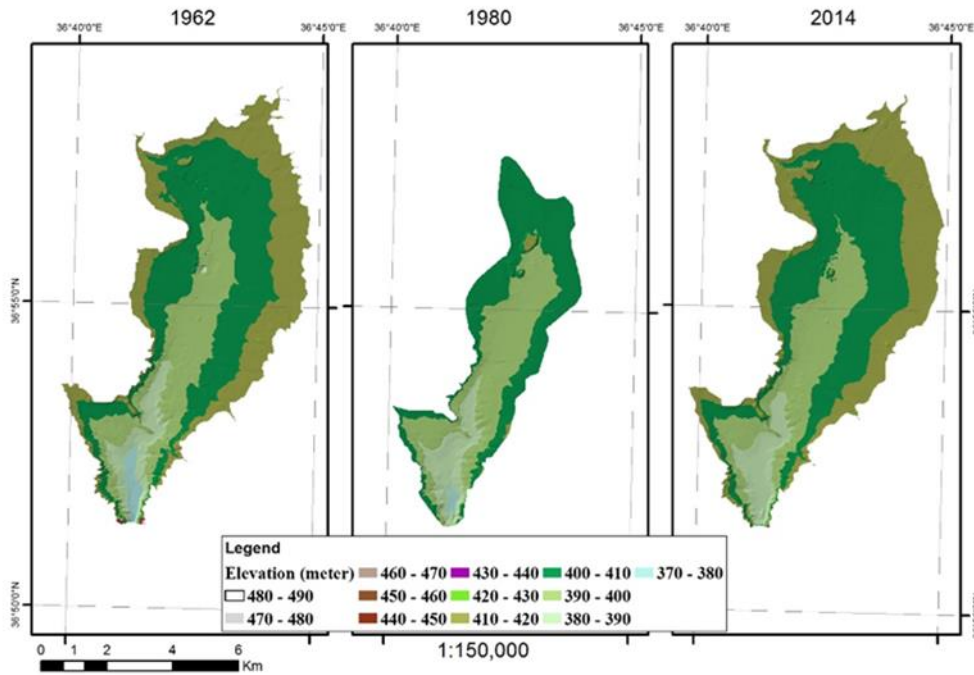
Estimation of sediment volume accumulated in a dam reservoir during operation period can be obtained by using consecutive hydrographic maps. The distribution of sediment accumulation in dam reservoirs can be determined by comparing the hydrographic maps of the monitoring years in GIS environment. The amount of sediment load is estimated at planning stage of the dam, and these values are taken into account in determining the dead storage of the dam. Bathymetric maps are prepared using depth measurements to examine bottom topography in reservoirs. The storage capacity of a reservoir may change due to the sediment flow carried with rivers from upper basin to the reservoir due to various environmental factors during operation works of the dam, the sediment accumulation effects cause changes in storage volume capacity. Changes in dam storage capacity have significant

implications for dam operation rules. Reservoir volume-level-area tables prepared in planning activities, tables updated with monitoring studies, sediment accumulation maps are evaluated within the scope of operation policies by the dam operation-maintenance units. A basic flow chart of the study is given in Figure 2 for better understanding of the methodology as presented in Burgan and Aksoy (2018).

Digital elevation models of Tahtaköprü Dam reservoir were generated by TIN interpolation in GIS environment by using the photogrammetric map prepared in 1962 before the construction of the dam and the bathymetric maps of 1980 and 2014 (Figure 3). Digital elevation models were used to calculate the differences in storage volume in the reservoir at maximum and minimum operation levels (Figure 3).



*Figure 2. Flow chart of sediment yield assessment*



*Figure 3. Tahtaköprü Dam digital elevation models*



### 3. Results and Discussion

The same elevation and height information for all three models are shown in the same colour in Figure 3. Because survey area of the bathymetric map prepared in 1980 in Tahtaköprü Dam reservoir area was narrower than the survey areas of other measurement years, the maps showing the sediment accumulation in 1980-1962 and 2014-1980 were limited to this map boundary and the sediment thickness maps were prepared with this boundary.

It is seen by examining digital elevation models in GIS environment that the light blue colour representing elevations of 370-380 meters in the 1962 model decreased over time in 1980 and 2014 models in Figure 3, in other words, elevation values increase and sediment accumulation occurred by time. Similarly, the spatial changes of elevation between three years

can be seen comparing the models given in Figure 3. The volume-level graph calculated through GIS analysis modules is given in Figure 4. When the storage volumes in 1962, in 1980 and in 2014 corresponding to 388 meters which is the minimum operation level of the reservoir are examined, it is determined that the maximum amount of sediment reaches into the reservoir before 1980. Compared the change between 1980-1962, it is seen that less sediment came between 1980 and 2014 (Figure 4).

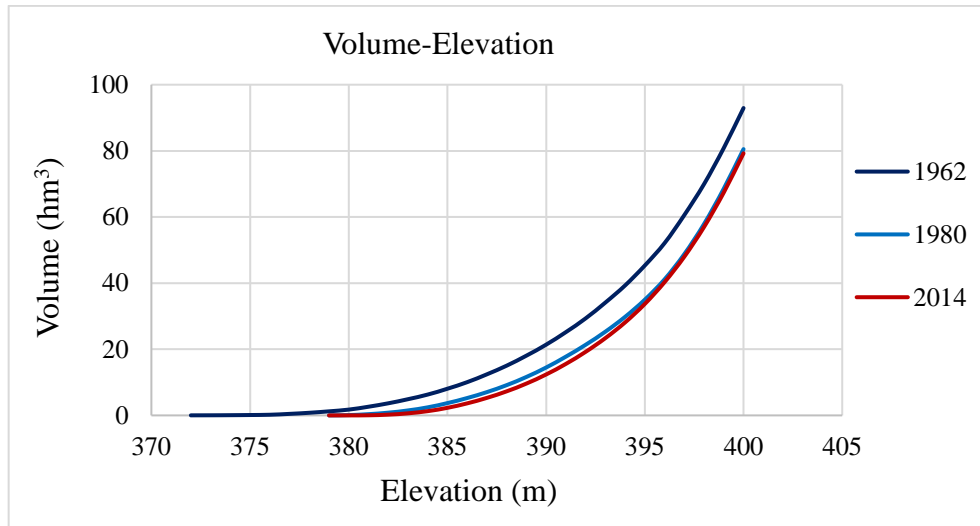
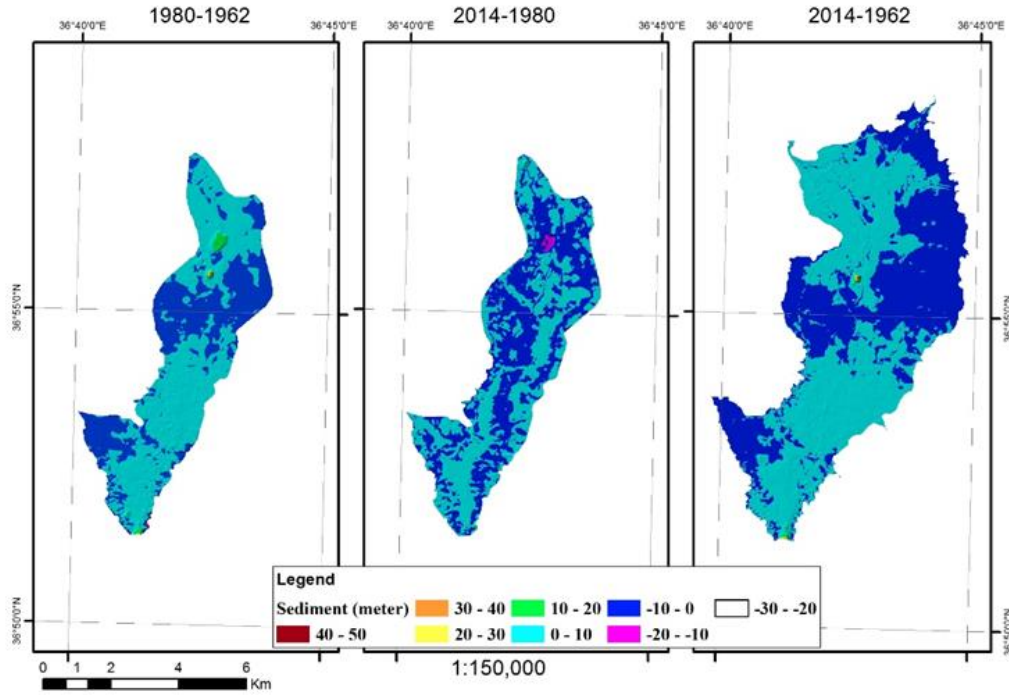


Figure 4. Tahtaköprü Dam volume-elevation curve

There were no sediment observations in the rivers in the Asi basin until 1958 (DSİ, 1958). Within the scope of the planning studies of Tahtaköprü Dam, 12 sediment samples were taken from the current observation station on the Karasu stream between November 1964 and February 1965, these samples were not found sufficient for sediment analysis, assuming an annual average sediment value of 200 m<sup>3</sup> per km<sup>2</sup> of the drainage area, it was estimated that 7.8 million m<sup>3</sup> sediment would arrive in the reservoir area in 50 years (IECO, 1966).

It can be seen by comparing digital elevation models between 2014 and 1962 that the amount of sediment coming into the reservoir in the intervening years was compatible with the values in the planning studies. The volume decrease in reservoir storage due to sediment accumulation is calculated as 9.15% in the maximum water level and 51.90% in the minimum water level as of 2014.

The sediment thickness maps were drawn by comparing the three digital elevation models in GIS environment; the maps showing the sediment deposition and distribution in pixels in the reservoir area are given in Figure 5. Sediment thickness maps of Tahtaköprü Dam (Figure 5) were evaluated in GIS environment.



*Figure 5. Tahtaköprü Dam reservoir sediment thickness maps*

(a) Between 1980-1962, the sediment thickness was estimated as in the areas close to the dam body as approximately 3-4 m, while the sediment thickness in the middle parts of the reservoir ranged from 1.5-4.3 m; the sediment thickness at the upper parts of the reservoir was estimated as approximately 1-2 m.

(b) Between 2014-1980, the sediment thickness was estimated in reservoir area close to the dam body as approximately 1.4-2.6 m, while in the middle part of the reservoir the sediment thickness was estimated as 0.4-1.3 m, a decrease in elevation values between approximately 0.2-0.7 m was estimated in some areas. At the upper part of the reservoir, a decrease in the bottom elevations in the range of 0.2-1.0 m and sediment accumulation in the range of 0.2-1.2 m in some areas are estimated.

(c) Between 2014-1962, sediment thickness in areas close to the dam body was in the range of 3.5-5.5 m, while the sediment thickness in the middle parts was estimated about 2.7-3.0 m and there's a decrease in the bottom elevations of about 0.7-1.5 m. Sediment accumulation in the upper parts of the

reservoir was estimated as 1.4-3.2 m and a decrease in bottom elevations between 0.3-1.6 m in some areas are estimated.

In this study, CORINE (COordination of INformation on the Environment) Land Use Cover data was used to detect the changes in land use, especially in forest areas, in the reservoir basin. As a result of the CORINE Land Use Cover (CLC) studies initiated in 1985, the first map was produced in 1990 and was updated in 2000, 2006, 2012 and 2018. CLC data has 44 different classes of land cover and this data has been obtained from <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover>.

With the examination of 1990 and 2018 CLC data, the forest area in Tahtaköprü drainage area is calculated as approximately 27% and 31% of the drainage area in 1990 and in 2018 respectively, the changes between 1990 and 2018 are given in Figure 6.

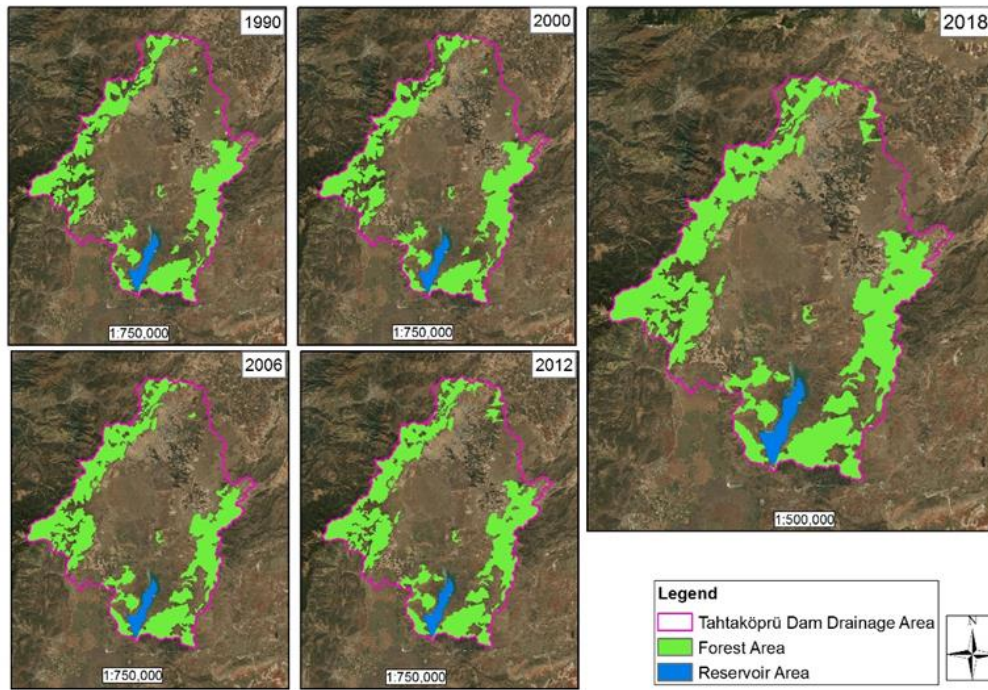


Figure 6. Tahtaköprü Dam drainage area

#### 4. Conclusions and Discussion

In this analysis, sediment thickness maps were created in a GIS setting to display the distribution of sediment in the Tahtaköprü Dam reservoir and the spatial changes in sediment deposition between 1980-1962, 2014-1980, and 2014-1962. The decrease in the storage volume capacity of the reservoir due to sediment accumulation was calculated as 9.15% at the maximum water level and 51.90% in the minimum water level comparing the digital elevation models of 1962, 1980 and 2014.

Sedimentation is one of the main problems of sustainable water resources management practices. Due to the decreasing trends in surface water potential in some basins in Turkey (Selek and Aksu, 2020), it is important to monitor the storage volumes of dam reservoirs, especially at minimum operation level, within the scope of sustainable and effective management of water resources. Sediment accumulation in dead volume and active volume in a reservoir effects reservoir operation rules. Sediment distribution is also has to be monitored to determine its effects on the dam water intake structure to prevent sediment threat. The amount of water stored in a dam reservoir is used to meet the needs for such as agricultural irrigation, drinking water supply, industrial and energy production purposes. Monitoring sediment effects on the dam body have importance in terms of operation-maintenance works of dams.

It has been determined in GIS environment that the maximum sediment load was occurred in Tahtaköprü Dam reservoir before the year of 1980. The digital elevation models prepared within the scope of this study is ready to facilitate the analysis of temporal and spatial changes of sediment accumulation in Tahtaköprü Dam reservoir in future. Bathymetric survey data of the reservoir was used to visualize spatial distribution of sediment accumulation. The results of

this study will support decision makers for reservoir operation policies. The importance of monitoring land cover data in basins and monitoring bathymetry of reservoirs by hydrographic surveys was stated. The results of this study are also expected to support future water-related facilities and projects in the basin. Sediment thickness maps may be used for decisions on sediment removal techniques and amount of sedimentation.

The effect of the increase in the land cover and forest area in the basin on the reservoir sediment was examined, and it was evaluated that the decrease in sediment coming into the reservoir after 1980, can be seen clearly in the volume-elevation graph of Tahtaköprü Dam, was due to the increase in the percentage of forest areas in Tahtaköprü Dam drainage area until 2018. It is seen by the analysis of CLC data of 1990 and 2018 that the forest areas in Tahtaköprü drainage area is approximately 27% and 31% of the drainage area respectively.

Sediment observation studies in Turkey has started since 1961 (DSİ, 2013). The data used in project designs in previous years were limited. With the technological developments in the field of data acquisition, it is possible to compare sediment values in projects design and actual conditions in current state. Digital elevation models and sediment thickness maps of reservoirs will be useful in determining operational policies of dams, and following up-to-date status of total, active and dead storage volumes of dams.

## References

- Burgan, H.I., Aksoy, H., 2018. Annual flow duration curve model for ungauged basins. *Hydrology Research*, 49(5), 1684-1695.
- Cebe, K., İnan, A. (2020) Havran Baraj gölüne dökülen yüzeysel akışın SWMM ile tahmini, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (Özel Sayı), 152-160.
- Ceylan, A., Karabörk, H., Ekizoğlu, İ. (2011) An analysis of bathymetric changes in Altınapa Reservoir, *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, Vol.6, No.2, p.15-24.
- Copernicus, <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover> (Date of access: 06.07.2020).
- Darama, Y., Selek, Z., Selek, B., Akgül, M.A., Dağdeviren, M. (2019) Determination of sediment deposition of Hasanlar Dam using bathymetric and remote sensing studies, *Natural Hazards*, DOI: 10.1007/s11069-019-03635-y, June 2019.
- DSİ, "Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü Stratejik Plan 2019-2023", Ankara, 2018.(in Turkish)
- DSİ, Türkiye akarsularında süspanse sediment gözlemleri (2006-2012), Mayıs 2013, Ankara. (in Turkish)
- DSİ Umum Müdürlüğü, Asi Havzası İstikşaf Raporu, Ankara, 1958. (in Turkish)
- Ehigiator, M.O., Oladosu, O.S., Ehigiator-Irughe, I. R. (2017) Determination of volume and direction of flow of Kainji Reservoir using Hydro-Geomatics techniques, *Nigerian Journal of Technology (NIJOTECH)*, Vol.36, No.4, October 2017, pp.1010-1015. 2017
- El-Sersawy, H., Sediment deposition mapping in Aswan High Dam Reservoir using geographic information system (GIS), Ninth International Water Technology Conference, IWTC9 2005, Sharm El-Sheikh, Egypt.
- Estigoni, M.V., Requena Sanchez, N.P., Miranda, R.B., Kuwajima, J.I., Mauad, F.F., Comparison of methods to assess reservoir volume and sedimentation based on bathymetric surveys, 3rd IAHR Europe Congress, Book of Proceedings, 2014, Porto-Portugal.
- Güvel, Ş.P., Yurtal, R.(2020) Investigation of sedimentation effects on Seyhan Dam Reservoir, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 35:2, 1015-1025.
- Güvel, Ş.P., Selek, B., Seçkin, G. (2017) Baraj rezervuarlarına sediment etkisinin araştırılması: Berdan Barajı örneği. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 32 (1), ss.89-97. (in Turkish)
- Hazır, İ., Akgül, M.A., Alkaya, M., Dağdeviren, M. (2016) 27 Ocak-14 Mart 2012 tarihleri arasında Hatay İli Amik Ovasında meydana gelen taşkınların coğrafi bilgi sistemleri kullanılarak değerlendirilmesi, 4.Ulusal Taşkın Sempozyumu Tebliğler Kitabı, 23-25 Kasım 2016, Rize. (in Turkish)
- IECO, (1966) Amik Geliştirilmesi Teknik ve Ekonomik Fizibilite Raporu, Amik Gölü Projesi Tahtaköprü Projesi, Mayıs 1966.(in Turkish)
- İmamoğlu, A. (2020) Alaca Çayı Havzası Erozyon Durumunun Morfometrik Ölçümler ile İlişkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 868-878.
- Khoi, D.N., Suetsugi T. (2014) Impact of climate and land-use changes on hydrological processes and sediment yield—a case study of the Be River catchment, Vietnam, *Hydrological Sciences Journal*, 59:5, 1095-1108, DOI: 10.1080/02626667.2013.819433. 2014
- Kubinský, D., Lehotský, M., Weis, K. (2014) Changes in bathymetry and land cover of riparian zone of an old artificial water reservoir Velký Kolpašský, *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, February 2014, Vol.9, No.1, p.171-178.
- Loi, N.K., (2020) Effect of land use/ land cover changes and practices on sediment contribution to the Tri An Reservoir of Dong Nai Watershed, Vietnam. (<http://www.fao.org/3/XII/0068-B1.htm>, Date of access: 12.07.2020)
- Lu, S.S., Xia, X.M., Pan, X.S., Shi, L.Q., Yu, L.L. Recent changes of water discharge and sediment load from Feiyun River in Zhejiang Province, China. *Water Resources*, 2017, Vol.44, No.1, pp.43-51.
- Mincev, I., Blinkov, I., Trendafilov, A. (2019) Sedimentation rates and lifespan analyses in the reservoir "Kalimanci". Contributions, Section of Natural, Mathematical and Biotechnical Sciences, MASA, Vol.40, No.2, pp.181-189.
- Ninija Merina, R., Sashikkumar, M.C., Danesh, A., Rizvana, N. (2019) Modelling technique for sediment evaluation at reservoir (South India). *Water Resources*, Vol.46, No.4, pp.553-562.
- Samaila-Ija, H.A., Ajayi, O.G., Zitta, N., Odumosu, J.O., Kuta, A.A., Adesina, E.A., Ibrahim, P., (2014) Bathymetric survey and volumetric analysis for sustainable management case study of Suleja Dam, Niger State, Nigeria, *Journal of Environment and Earth Science*, Vol.4, No.18.
- Sang, J.K., Raude, J.M., Mati, B.M., Mutwiwa, U.N., Ochieng, F. (2017) Dual echo sounder bathymetric survey for enhanced management of Ruiru reservoir, Kenya, *Journal of Sustainable Research in Engineering*, Vol.3(4), 2017, 113-118.
- Selek, B., Aksu, H. Water resources potential of Turkey. In: Harmancioglu N., Altinbilek D. (eds) *Water resources of Turkey*. World Water Resources, vol 2. Springer, Cham doi: /10.1007/978-3-030-11729-0\_8. 2020
- Soyaslan, İ.İ., Hepdeniz, K. (2020). Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanılarak Bucak Havzası yeraltısuyu sertlik haritasının hazırlanması ve kayaç-su etkileşiminin yorumlanması, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 99-108.
- Tukaram, S., Nimbalkar, P.T, Gidde, M.R., Comparison of area reduction method and area increment method for reservoir sedimentation distribution- case study Ujjani Dam, *International Journal of Research in Advanced Engineering and Technology*, Vol.2, Issue.3, May 2016, Page No.108-111. 2016



# Endoreversible Performance Analysis of a modified dual cycle and comparison with the classical engine cycles

Huseyin Sahin<sup>1\*</sup>, Guven Gonca<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Uskudar American Academy, Uskudar, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0003-2071-3350), [hsahin22@my.uaa.k12.tr](mailto:hsahin22@my.uaa.k12.tr)

<sup>2</sup> Yıldız Technical University, Naval Arch. and Marine Eng. Depart, Besiktas, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0001-6293-6128), [ggonca@yildiz.edu.tr](mailto:ggonca@yildiz.edu.tr)

(First received 28 September 2021 and in final form 30 November 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1016058)

**ATIF/REFERENCE:** Sahin, H. & Gonca, G. (2021). Endoreversible Performance Analysis of a modified dual cycle and comparison with the classical engine cycles. *European Journal of Science and Technology*, (27), 1003-1009.

## Abstract

In this study, energetic performance analysis of an endoreversible modified dual cycle is performed. In this context, the net work and thermal efficiency of the modified cycle, are formulated with respect to certain basic design parameters. Also, conditions for maximum net work are investigated, and for the modified and classical cycles, compression ratio that maximizes the net work are analytically obtained with respect to extreme temperature ratio, isothermal expansion ratio, and cutoff ratio. The results of the performance analysis of the modified dual cycle are compared with those of classical engine cycles (otto, diesel and dual cycles). In terms of net work or power, modified cycle is demonstrated to be considerably more advantageous than the classical cycles. In terms of thermal efficiency, modified cycle performs better than dual and diesel cycle, but falls short slightly of the otto cycle.

**Keywords:** Performance analysis, endoreversible, modified cycle, Dual cycle, net work, thermal efficiency.

---

\* Corresponding Author: [hsahin22@my.uaa.k12.tr](mailto:hsahin22@my.uaa.k12.tr)

### 1. Introduction

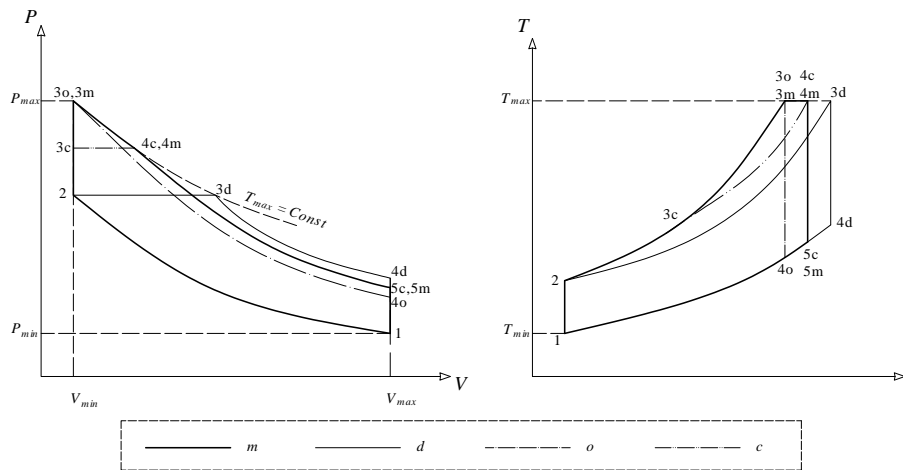
The studies concerning the internal combustion engines have focused on increasing the performance and on reducing emission. A number of these studies include performance analysis of internal combustion engine cycles. In these studies, net work/power, thermal efficiency, power density, exergy, and ecological performance are taken as the objective function to optimize design parameters. As internal combustion engine cycles, Otto, Diesel, Atkinson, Dual, Miller, and Dual-Miller. Klein [1] compared compression ratios and thermal efficiencies at the maximum net work conditions for an ideal standard-air otto and diesel cycles. His results showed that the compression ratio at the maximum net work of the diesel cycle is higher than that of the otto cycle for the same design parameters. Taking the net work output of the diesel cycle as the objective function, Blank and Wu [2] optimized the cut-off ratio. Orlov and Berry [3] analytically determined upper bounds of power and efficiency of an internal combustion engine by considering finite size heat exchange. By taking into account the irreversibilities during expansion and compression, Aragon-Gonzalez et al. [4] studied the maximum work and efficiency of the otto cycle. Leff [5] investigated thermal efficiency at maximum net work conditions for Otto, Diesel, Joule-Bryton, and Atkinson cycles. Taking power and power density as the objective functions for the Atkinson cycle, Chen et al. [6] determined optimal design

parameters, which resulted in smaller and more efficient engines. Lin et al. [7] applied the same objective functions to standard-air otto and dual cycles. Al-Sarkhi et al. [8-9] analyzed the performance of the reversible and irreversible Miller cycle. Rinaldini et al. [10] applied Miller cycle to a high-speed diesel engine and minimized the NOx emission. Gonca and Sahin [11] carried out performance analysis for irreversible modified dual cycle consisting of five processes with one isothermal process.

This study presents performance analysis of the endoreversible modified dual cycle consisting of five processes with an isothermal process (as characterized by the processes 1-2-3m-4m-5m-1 in fig. 1). Net work is taken as the objective function to optimize basic design parameters for the modified dual cycle. Modified cycle is compared with classical cycles in terms of their performance analysis results. This study provides a new perspective on the investigation of endoreversible modified dual cycle.

### 2. Theoretical Performance Analysis

In this section, thermodynamic analysis has been performed by assuming that working fluid is standard air for the modified cycle. Demonstration of the modified cycle and comparison with the other classical cycles is presented in Fig. 1.



**Fig. 1.** P-v and T-s diagrams for mentioned cycles (modified: 1-2-3m-4m-5m-1, otto: 1-2-3o-4o-1, diesel: 1-2-3d-4d-1, dual: 1-2-3c-4c-5c-1) for the modified cycle, dual cycle, otto cycle, and diesel cycle.

### 2.1 Theoretical Performance Analysis of Modified Cycle

As seen in fig. 1, for the modified cycle (1-2-3m-4m-5m-1), heat input occurs at the isothermal and isovolumetric process compared to heat input in the classical dual cycle which occurs at isovolumetric and isobaric processes.

The input heat during 2-3m (isovolumetric process) can be represented as follows:

$$Q_{in,1} = mC_v (T_{3m} - T_2) = mC_v (T_{max} - T_2) \tag{1}$$

The second heat input process occurs at 3m-4m (the isothermal process). This can be derived into the following:

$$Q_{in,2} = mRT_{max} \ln\left(\frac{V_4}{V_3}\right) \tag{2}$$

$\frac{V_4}{V_3}$  can be defined as isothermal expansion ratio and can be shown by  $\rho_T$ . The previous equation can be rewritten as follows:

$$Q_{in,2} = mRT_{max} \ln(\rho_T) \tag{3}$$

The output heat at 5m-1 (isovolumetric process) can be written as follows:

$$Q_{out} = mC_v (T_{5m} - T_1) = mC_v (T_{5m} - T_{min}) \tag{4}$$

Input and output heat equations can be expressed by the basic design parameters,  $\alpha$  (extreme temperature ratio) =  $\frac{T_{max}}{T_{min}}$ ,  $\epsilon$  (compression ratio) =  $\frac{V_{max}}{V_{min}}$ ,  $\rho_T$  (isothermal expansion ratio) =  $\frac{V_{4m}}{V_{3m}}$

$$Q_{in,1} = mC_v T_{min} (\alpha - \epsilon^{k-1}) \tag{5}$$

$$Q_{in,2} = mC_v T_{min} \alpha (k-1) \ln(\rho_T) \tag{6}$$

$$Q_{out} = mC_v T_{min} [\alpha \left(\frac{\rho_T}{\epsilon}\right)^{k-1} - 1] \tag{7}$$

Dimensionless net work can be expressed as follows:

$$\bar{W}_{net} = \frac{Q_{in,1} + Q_{in,2} - Q_{out}}{mC_v T_{min}} \tag{8}$$

Replacing  $Q_{in,1}$ ,  $Q_{in,2}$  and  $Q_{out}$  with eq. 5, 6, 7 in eq.8:

$$\bar{W}_{net} = (\alpha - \epsilon^{k-1}) + \alpha(k-1) \ln(\rho_T) - (\alpha \left(\frac{\rho_T}{\epsilon}\right)^{k-1} - 1) \tag{9}$$

Thermal efficiency of the modified cycle can be calculated as follows:

$$\eta_{mod} = 1 - \frac{Q_{out}}{Q_{in,1} + Q_{in,2}} \tag{10}$$

$$\eta_{mod} = 1 - \frac{\alpha \left(\frac{\rho_T}{\epsilon}\right)^{k-1} - 1}{(\alpha - \epsilon^{k-1}) + \alpha(k-1) \ln(\rho_T)} \tag{11}$$

The derivative of net work (dimensionless) with respect to the compression ratio:

$$\frac{d\bar{W}_{net}}{d\epsilon} = -(k-1)\epsilon^{k-2} + \frac{\alpha \rho_T^{k-1} (k-1)}{\epsilon^k} \tag{12}$$

To find the  $\epsilon$  for the maximum net work, the zero of the derivative, which is  $\epsilon$  for the maximum net work, can be obtained as:

$$\epsilon^* = (\sqrt{\alpha \rho_T^{k-1}})^{\frac{1}{k-1}} \tag{13}$$

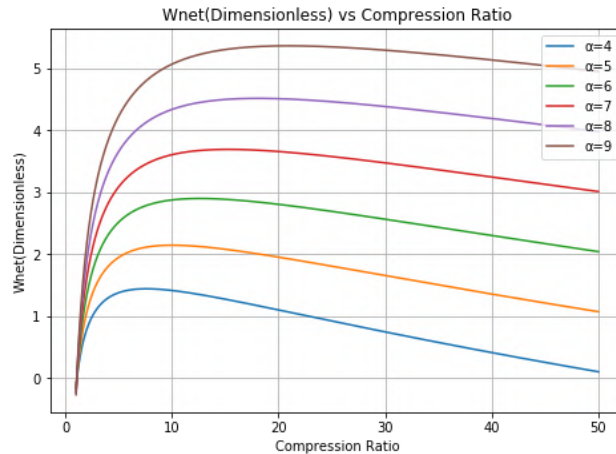


Fig. 2. The variation of dimensionless net work with respect to compression ratio of modified cycle for different extreme temperature ratios for  $\rho_T = 1.8$

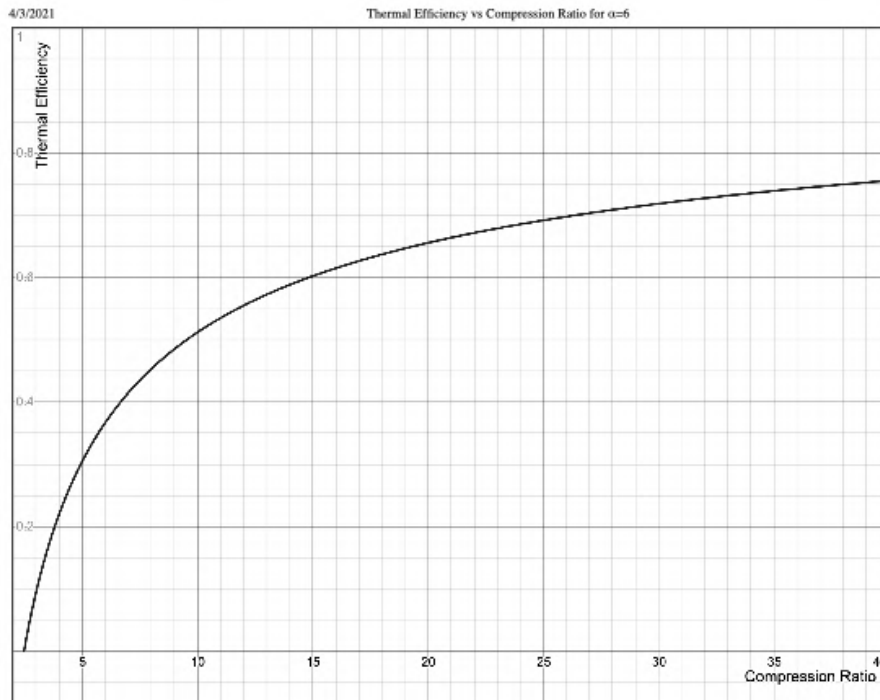


Fig. 3 The variation of thermal efficiency with respect to compression ratio of modified cycle, for  $\alpha=6$  and  $\rho_T = 1.8$

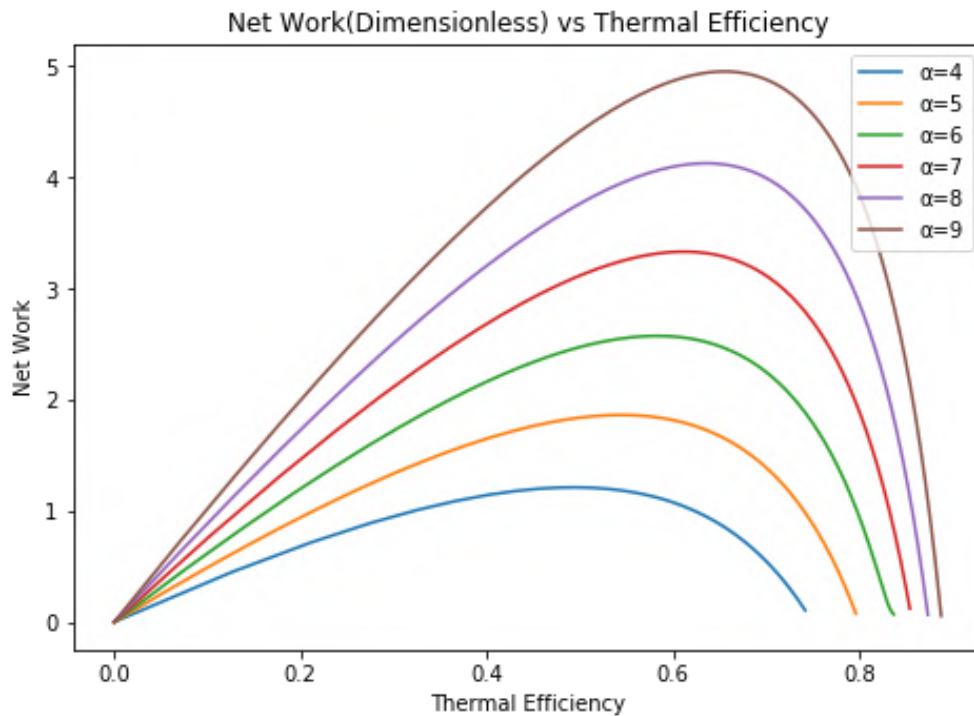


Fig. 4. The variation of net work with respect to thermal efficiency of modified cycle for different extreme temperature ratios for  $\rho_T = 1.8$

The graphs of dimensionless net work vs compression ratio, thermal efficiency vs compression ratio, and dimensionless net work vs thermal efficiency are presented in fig. 2, 3, and 4, respectively.

## 2.2 Theoretical Performance Analysis Results for Classical Cycles

Dimensionless network and thermal efficiency of the otto, diesel and dual cycles can be respectively given as follows



(different from the modified cycle,  $\rho$  is defined as the isobaric expansion ratio or the cut-off ratio) [12]:

$$\bar{W}_{net,o} = (\alpha - \varepsilon^{k-1}) - \left(\frac{\alpha}{\varepsilon^{k-1}} - 1\right), \eta_o = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} \quad (14)$$

$$\bar{W}_{net,di} = k(\alpha - \varepsilon^{k-1}) - \left(\frac{\alpha^k}{\varepsilon^{k^2-k}} - 1\right), \eta_{di} = 1 - \frac{\left(\frac{\alpha}{\varepsilon^{k-1}}\right)^{k-1}}{k\varepsilon^{k-1}\left(\frac{\alpha}{\varepsilon^{k-1}} - 1\right)} \quad (15)$$

$$\bar{W}_{net,du} = \left(\frac{\alpha}{\rho} - \varepsilon^{k-1}\right) + k\alpha\left(1 - \frac{1}{\rho}\right) - \left(\alpha\frac{\rho^{k-1}}{\varepsilon^{k-1}} - 1\right), \eta_{du} = 1 - \frac{\left(\alpha\frac{\rho^{k-1}}{\varepsilon^{k-1}} - 1\right)}{\left(\frac{\alpha}{\rho} - \varepsilon^{k-1}\right) + k\alpha\left(1 - \frac{1}{\rho}\right)} \quad (16)$$

The optimum compression ratio which gives the maximum net work for otto, diesel and dual cycles can be respectively calculated as:

$$\varepsilon_o^* = (\sqrt{\alpha})^{\frac{1}{k-1}} \quad (17)$$

$$\varepsilon_{di}^* = \alpha^{\frac{k}{k^2-1}} \quad (18)$$

$$\varepsilon_{du}^* = (\sqrt{\alpha\rho^{k-1}})^{\frac{1}{k-1}} \quad (19)$$

As it was done for the modified cycle, the dimensionless net work vs compression ratio, thermal efficiency vs compression ratio, and dimensionless net work vs thermal efficiency for the classical cycles have been graphed in fig. 6, 7, and 8 together with those for the modified cycle, assuming  $\alpha=6$ ,  $\rho=1.8$ .

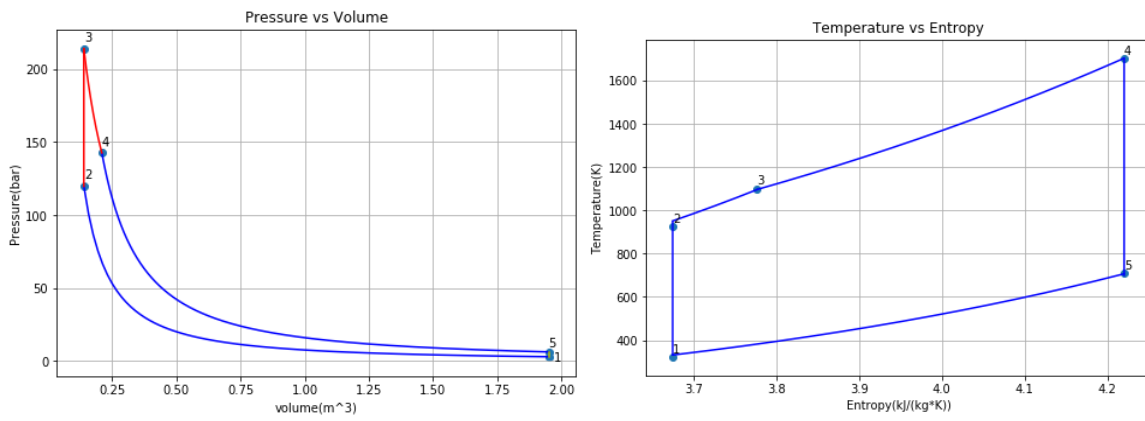


Fig 5 a. P-V diagram of the modified cycle based on design parameters presented in table 1.

Fig. 5 b. T-S diagram of the modified cycle based on design parameters presented in table 1.

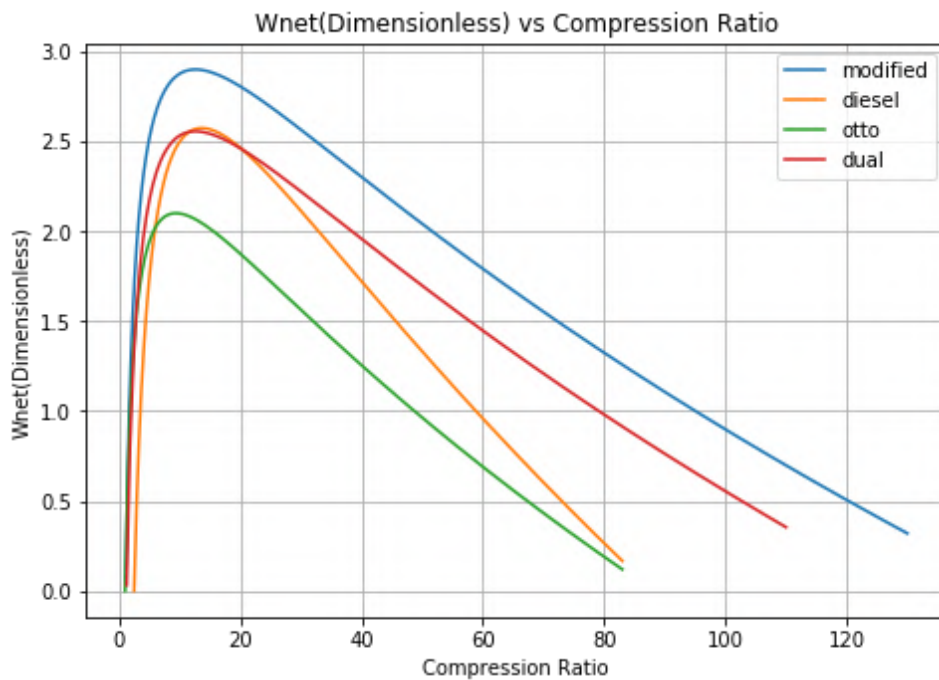


Fig. 6. The variation of net work with respect to compression ratio of mentioned cycles for  $\rho$  and  $\rho_T = 1.8$  and  $\alpha=6$ .

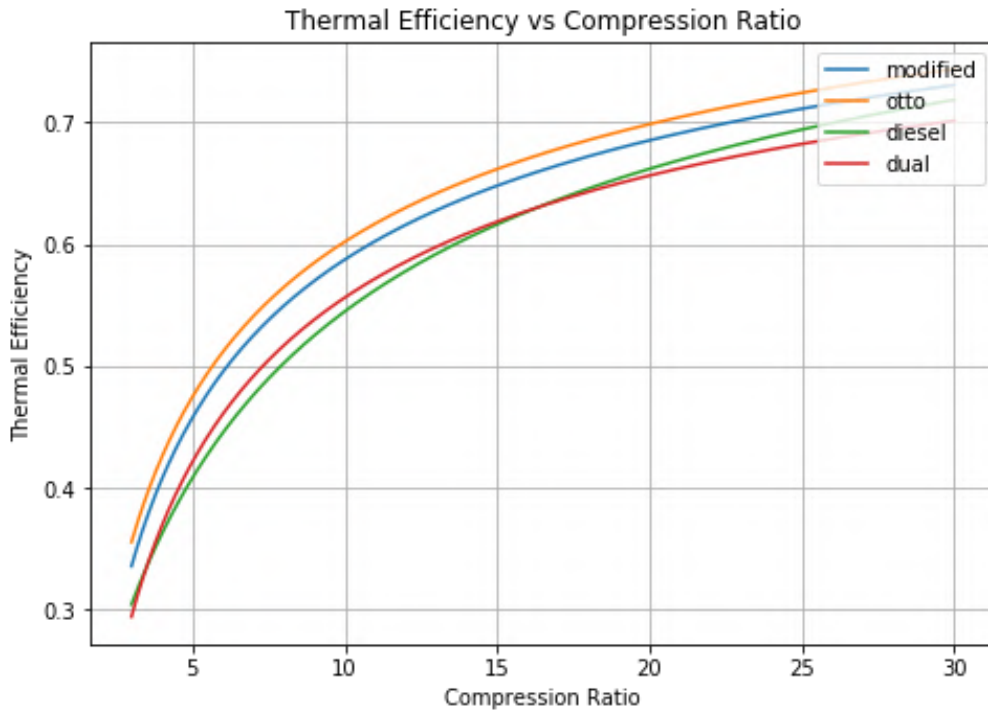


Fig. 7. The variation of thermal efficiency with respect to compression ratio of mentioned cycles for  $\rho$  and  $\rho_T = 1.8$  and  $\alpha=6$ .

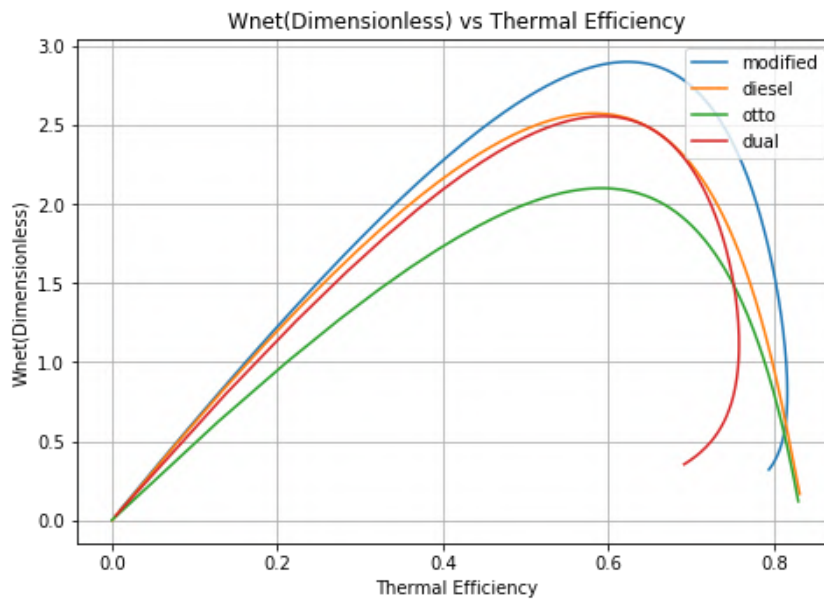


Fig. 8. The variation of dimensionless net work with respect to thermal efficiency of mentioned cycles for  $\rho$  and  $\rho_T = 1.8$  and  $\alpha=6$ .

### 2.3 Numerical Performance Calculation for Modified Cycle and Classical Cycles

Based on the basic design parameter values in table 1, P-V and T-S diagrams of the modified cycle are drawn as seen in fig. 5a and 5b.

Table 1. Basic design parameters

$T_{min}$	$T_{max}$	$\alpha$	$V_{max}$	$V_{min}$	$\epsilon$	$P_0(P_{min})$	$\rho$ and $\rho_T$
323 K	1704 K	5.28	$1.95 m^3$	$0.14 m^3$	13.93	3 bar	1.5

The computational evaluations have been carried out by considering as  $C_p = 1.005$  kJ/kg.K,  $C_v = 0.718$  kJ/kg.K, specific heat ratio,  $k = C_p/C_v$ . Also, to draw the T-S diagram of the modified cycle, mass is taken as 1 kg.

For the modified cycle, integral calculations for the cycle area gives 3112 kJ as the net work. The cycle thermal efficiency is calculated as 64.3%.

Net work and thermal efficiency for the classical cycles (dual, diesel, and otto) are calculated similarly:

$$\begin{aligned} W_{\text{net, dual}} &= 2687 \text{ kJ} & \eta_{\text{dual}} &= 62.6\% \\ W_{\text{net, diesel}} &= 2769 \text{ kJ} & \eta_{\text{diesel}} &= 60\% \\ W_{\text{net, otto}} &= 2149 \text{ kJ} & \eta_{\text{otto}} &= 65.13\% \end{aligned}$$

### 3. Results and Discussion

As can be seen in fig. 2, both net work and the compression ratio at the maximum net work ( $\varepsilon^*$ ) increases as extreme temperature ratio ( $\alpha$ ) increases. This result is clearly seen in eq. 13. The thermal efficiency of the modified cycle is increasing at slower rate as the compression ratio increases (fig. 3). In fig. 4, the relationship between the net work and thermal efficiency for the modified cycle can be seen. As seen in the figure, as  $\alpha$  increases, both thermal efficiency and net work increases. On the other hand, for a specific  $\alpha$  value, maximum thermal efficiency is greater than the thermal efficiency at maximum net work ( $\eta_{\text{max}} > \eta_{\text{mw}}$ ). Additionally, for a specific  $\alpha$  value, maximum net work is greater than the net work at maximum thermal efficiency ( $W_{\text{max}} > W_{\text{me}}$ ). Therefore, optimum design conditions should be determined considering net work and thermal efficiency together. For the optimum design conditions, following intervals can be given:

$$\eta_{\text{max}} > \eta_{\text{opt}} > \eta_{\text{mw}} \quad W_{\text{max}} > W_{\text{opt}} > W_{\text{me}}$$

The endoreversible modified dual cycle has been compared with the other internal combustion engine cycles (otto, diesel and dual) in terms of thermal efficiency and dimensionless net work. Fig. 6 displays that modified cycle has the greatest amount of net work obtained, meaning it has the greatest power. Also, the figure displays that the compression ratio at the maximum net work for each cycle is different. However, as Fig. 7 demonstrates, thermal efficiency of the suggested modified cycle far exceeds diesel and dual cycles' efficiency but falls behind of otto cycle with a small difference. As  $\alpha$  increases, both maximum net work and thermal efficiency obtained from the compression ratio for maximum work increase. Also, as compression ratio increases, thermal efficiency increases. As demonstrated in Fig. 8 for the same thermal efficiency values, modified cycle shows a significantly higher net work whilst curves for dual and diesel cycle almost overlap and are considerably higher than net work obtained from Otto cycle.

When numerical analysis is performed based on the basic design parameters given in table 1, in terms of the network, modified cycle outperformed dual cycle by 16%, diesel cycle by 12%, and otto cycle by 45%. In terms of thermal efficiency, modified cycle outperformed dual cycle by 2.7% and diesel cycle by 7.2%, but otto cycle outperformed the modified cycle by 1.3%.

### 4. Conclusion

This study demonstrates that the modified dual cycle, compared to classical cycles, is considerably more advantageous in terms of power or net work. Modified cycle, considering thermal efficiency, performs better than classical dual and diesel cycles, while by a small amount falls short of Otto cycle. Additionally, the theoretical performance analysis results show that for the modified cycle, the compression ratio at the maximum net work is the same as that of the dual cycle. Due to the limited technology, an engine with the principles of modified cycle cannot be constructed since it isn't feasible to obtain an

isothermal process. However, an automated system controlling the piston speed and fuel injection rate throughout the isothermal process may make the construction feasible.

### References

- [1]. Klein SA. An explanation for observed compression ratios in internal combustion engines. *J Engng Gas Turbines Power* 1991;113:511–3.
- [2]. Blank DA, Wu C. The effect of combustion on a power optimized endoreversible Diesel cycle. *Energy Convers Mgmt* 1993;3(6):493–8.
- [3]. Orlov VN, Berry RS. Power and efficiency limits for internal combustion engines via methods of finite-time thermodynamics. *J Appl Phys* 1993;7(10):4317–22.
- [4]. Aragon-Gonzalez G, Canales-Palma A, Leon-Galicia A. Maximum irreversible work and efficiency in power cycles. *J Phys D: Appl Phys* 2000;33:1403–9.
- [5]. Leff HS. Thermal efficiency at maximum work output: New results for old heat engines. *Am J Phys* 1987;55(7): 602–10.
- [6]. Chen L, Lin J, Sun F, Wu C. Efficiency of an Atkinson engine at maximum power density. *Energy Convers Mgmt* 1998; 3(3/4):337–41.
- [7]. Lin J, Chen L, Wu C, Sun F. Finite-time thermodynamic performance of a dual cycle. *Int J Energy Res* 1999;2(9): 765–72.
- [8]. Al-Sarkhi, A., Jaber, J.O., Probert, S.D., 2006. Efficiency of a Miller engine. *Appl Energ*, 83,pp.343–351.
- [9]. Al-Sarkhi, A., Al-Hinti, I., Abu-Nada, E., Akash, B., 2007. Performance evaluation of irreversible Miller engine under various specific heat models. *Int Commun Heat Mass*, 34, pp.897–906.
- [10]. Rinaldini, C.A., Mattarelli, E., & Golovitchev, V.I., 2013. Potential of the Miller cycle on a HSDI diesel automotive engine. *Applied Energy*, 112, pp.102-19.
- [11]. Gonca G, Sahin B. Performance investigation and evaluation of an engine operating on a modified dual cycle. *International Journal of Energy Research*. (In press.)
- [12] Gupta H.N., 2009. *Fundamentals of Internal Combustion Engines*. 1st Edition. PHI Learning Private Limited, New Delhi.



# Deterjan Esash Hücresizleştirilen Tavuk Derisinin Doku İskelesi Olarak Karakterizasyonu

İlyas İnci

İzmir Demokrasi Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Dişçilik Hizmetleri Bölümü, Diş Protez Teknolojisi, İzmir 35140, Türkiye,  
(ORCID: 0000-0001-7231-7822), [ilyasinci@gmail.com](mailto:ilyasinci@gmail.com)

(İlk Geliş Tarihi 2 Mart 2021 ve Kabul Tarihi 21 Kasım 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.889435)

**ATIF/REFERENCE:** İnci, İ. (2021). Deterjan Esaslı Hücresizleştirilen Tavuk Derisinin Doku İskelesi Olarak Karakterizasyonu. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (27), 1010.1017.

## Öz

Özellikle son yıllarda doku mühendisliği uygulamaları için biyomalzemeler elde etmek amacıyla birçok doku ve organa hücresizleştirme yöntemi uygulanmıştır. Bu çalışmada, potansiyel bir doku iskelesi olarak hücresizleştirilmiş tavuk derisinin hazırlanması ve karakterizasyonu ile ilgili kapsamlı ve ayrıntılı incelemeler gerçekleştirilmiştir. Hücresizleştirme ajanı olarak kullanılan sodyum deoksikolat farklı zaman aralıklarında dokulara uygulanarak hücresizleştirme sürecinde en uygun yöntemin bulunabilmesi amacıyla DNA miktarı tayini, hücresel bileşenlerin uzaklaştırılması, mekanik özellikler, ekstraselüler matriksin (ESM) korunması ve hücre canlılığı ile ilgili analizler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar, hücresizleştirme süresinin uzatılmasının hücresel bileşenlerin uzaklaştırılması ve dokudan uzaklaştırılan DNA miktarı yönünden avantaj sağlarken diğer taraftan ESM'nin korunması, mekanik özellikler ve hücre canlılığı yönünden dezavantaja sebep olduğunu göstermiştir. Bununla birlikte hücresizleştirilmiş tavuk derisinin hücre tutunması, büyümesi ve proliferasyonunu destekleyen özellikte olduğu gösterilerek hazırlanan malzemenin biyouyumlu olduğu kanıtlanmıştır. Sonuç olarak, bu çalışmada hücresizleştirilmiş tavuk derisinin kolayca bulunabilen, ucuz ve biyouyumlu bir malzeme olarak, özellikle deri dokusu mühendisliği olmak üzere doku mühendisliği ile ilgili daha ileri çalışmalar için doku iskelesi hazırlanması amacıyla kullanılabilir uygun bir biyomalzeme olduğu gösterilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** doku mühendisliği, hücresizleştirme, tavuk derisi, doku iskelesi, biyomalzeme

## Characterization of Detergent-based Decellularized Chicken Skin as a Tissue Scaffold

### Abstract

Especially in recent years, decellularization method has been applied to many tissues and organs in order to obtain biomaterials for tissue engineering applications. In this study, comprehensive and detailed investigations were carried out on preparation and characterization of decellularized chicken skin as a potential tissue scaffold. Sodium deoxycholate was applied to tissues as a decellularization agent at different time intervals and analysis were performed on DNA quantitation, removal of cellular components, mechanical properties, preserving the extracellular matrix (ECM) and cell viability to find the most appropriate method in the process of decellularization. The results showed that extending the duration of decellularization provides advantages in terms of the removal of cellular components and the amount of DNA removed from the tissue, on the other hand, it causes disadvantages in terms of protection of ECM, mechanical properties, and cell viability. However, the prepared material was proven to be biocompatible by showing that decellularized chicken skin is capable of supporting cell attachment, growth, and proliferation. In conclusion, in this study, it was shown that decellularized chicken skin is an easily available, inexpensive, and biocompatible material that can be used for preparation of tissue scaffold for further studies in tissue engineering, especially in skin tissue engineering.

**Keywords:** tissue engineering, decellularization, chicken skin, tissue scaffold, biomaterial

## 1. Giriş

Doku mühendisliği, biyoyumlu malzemeleri, hücreleri, büyüme faktörleri gibi biyokimyasal sinyal moleküllerini ve mekanik yüklemeye gibi fiziksel faktörleri ve ayrıca bu faktörlerin kombinasyonunu kullanarak doku ve organların üretilmesini amaçlayan bir bilim dalıdır (Berthiaume vd., 2011; Langer & Vacanti, 1993).

Hücreleştirme, özellikle doku mühendisliğinde son yirmi yılda çok yaygın olarak kullanılan tekniklerden biridir. Hücreleştirmenin temel amacı, ekstraselüler matriks (ESM)'nin mekanik bütünlüğünü, yapısal bileşimini ve biyolojik aktivitesini korurken hücreleri ve hücre çekirdeği bileşenlerini etkili bir şekilde dokudan uzaklaştırmaktır (Gilpin & Yang, 2017; Grauss vd., 2003; Liao vd., 2020).

Doku mühendisliğinde kas, deri, kıkırdak, karaciğer, kalp, kemik, vasküler doku, amniyotik membran, perikard, periost, yağ dokusu ve omentum gibi çeşitli organ ve dokular hücreleştirilerek doku iskeleleri ve biyomalzemeler olarak kullanılmıştır (Gilbert vd., 2006; Inci vd., 2020; Liao vd., 2020).

Deri, omurgalılarda organizmayı dış ortama karşı koruyan en dış tabakadır. Vücuttaki kimyasal, termal ve higrometrik süreçlerin düzenlenmesinde önemli bir işlevi vardır. Kuş derisi, memelilerin derisine kıyasla tüylerin varlığı, kalınlıkları ve yağ bezlerinin olmaması gibi bazı farklılıklar gösterir. Bununla birlikte, tüm yapısal histolojileri ve morfolojileri memeli derisine benzerdir. Kuşlarda başlıca deri katmanları olan epidermis ve dermis, bir bazal membran ile birbirinden ayrılır (Couteaudier & Denesvre, 2014). Tavuk derisi kullanımının, bol ve bulunması kolay bir malzeme kaynağı olması gibi avantajları vardır. Ayrıca tavuk derisi ucuz bir malzeme olduğundan biyomalzeme olarak kullanılması bir diğer avantajdır ancak literatürde sadece Mirzarafie ve arkadaşları tarafından yayınlanan tavuk derisinin hücreleştirilmesine ilişkin bir çalışma bulunabilmiştir (Mirzarafie vd., 2014). Bununla birlikte, yaptıkları çalışma, dokuların hücreleştirildiğini göstermek için yalnızca DNA miktar tayini ve artık dehidrojenaz aktivitesi analizlerini içerdiği için biyomalzeme olarak hücreleştirilmiş tavuk derisinin kullanımına ilişkin çok sınırlı bilgi sağlamıştır.

Bu çalışmanın amacı, hücreleştirilmiş tavuk derisinin doku mühendisliği uygulamaları için doku iskelesi olarak hazırlanması ve karakterizasyonu ile ilgili incelemeler yaparak bu konuda bilgi sağlamaktır. Hücreleştirilmiş doku iskelesi hazırlanması sırasında en uygun yöntemin bulunması için sodyum deoksikolat'ın farklı zaman aralıklarında dokulara uygulanmasının etkileri karakterizasyon safhasında hücresel bileşenlerin uzaklaştırılması, DNA ölçümü, ESM'nin korunması, hücre canlılığı ve mekanik özellikler gibi çeşitli parametrelere göre karşılaştırılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Hücreleştirme

Tavuk derileri yerel bir mezbahanedan elde edilmiştir. Dokular, % 1 penisilin/streptomisin (P4333, Sigma-Aldrich) içeren steril fosfat tamponlu tuz çözeltisi (PBS) (D8537, Sigma-Aldrich) ile yıkanmış ve bunun ardından, hücreleştirme işleminden önce tavuk derileri -20°C'de saklanmıştır. Dokuların hücreleştirilmesi, sakrifasyondan sonra 24 saat içinde gerçekleştirilmiştir.

Tavuk derilerinin hücreleştirilmesinde sodyum deoksikolat (D6750, Sigma-Aldrich) deterjanı hücreleştirme ajanı olarak kullanılmıştır. Hücreleştirme aşamasında 3 farklı grup oluşturulmuştur. Buna göre dokular, 4°C'de 6 saat (Grup 1), 24 saat (Grup 2) ve 48 saat (Grup 3) % 1 (ağırlık/hacim) konsantrasyondaki sodyum deoksikolat çözeltisi kullanılarak hücreleştirilmiştir. Hücreleştirme uygulanan her bir grup için 4 örnek kullanılmıştır (n: 4).

Hücreleştirme çözeltileri her 1 saat, 2 saat ve 3 saatte taze deterjan çözelti hazırlanarak değiştirilmiş ve bunun ardından tüm hücreleştirme protokollerinde çözeltiler her 12 saatte bir değiştirilmiştir. Dokuların deterjan çözeltisi ile muamele edilmesi basamağı bittikten sonra hücreleştirilmiş tavuk derileri, dokudaki deterjanın uzaklaştırılması için 12 saatlik yıkama döngüleri ile 4°C'de 48 saat steril PBS kullanılarak yıkanmıştır. Tüm hücreleştirme ve yıkama basamakları, bir çalkalayıcı kullanılarak 100 rpm'de gerçekleştirilmiştir. Kontrol grubu olarak ise herhangi bir hücreleştirme işlemi uygulanmamış olan doğal tavuk derileri kullanılmıştır (Kontrol Grubu).

Bundan sonraki deneysel kısımların hepsinde her bir grup için 4 örnek kullanılmıştır (n: 4).

### 2.2. Histolojik İncelemeler

Doğal dokular (Kontrol Grubu) ve hücreleştirilmiş tavuk derileri, histolojik değerlendirmeler için kesitler alınmak üzere kriyojenik yöntemle gömülmüştür. Bunun için örnekler kriyo-kalıplara yerleştirilmiş ve daha sonra kriyo-gömme malzemesi olarak kullanılan Optimal Kesme Sıcaklığı Bileşiği (Tissue-Tek, Sakura) içerisine gömülmüştür. Örnekler kriyostat (Leica CM1950, Leica, Almanya) içinde dondurulmuş ve dokulardan 10 µm kalınlığında kesitler alınmıştır.

Dokunun genel morfolojisini ve hücreleştirme yöntemlerinin etkinliğini belirlemek için Optimal Kesme Sıcaklığı Bileşiği (Tissue-Tek, Sakura) ve kriyostat kullanılarak elde edilen 10 µm kalınlığındaki doku kesitlerinin hematoksilin & eozin (H&E) boyaması yapılmıştır. Kısaca, kesitler PBS ile yıkanmış ve hematoksilin (HHS32, Sigma-Aldrich) ile boyanmıştır. Bir sonraki adımda örnekler musluk suyu ile yıkanmış ve ardından numuneler sırasıyla % 70 ve % 95 etanol ile muamele edilerek dokulardaki su uzaklaştırılmıştır. Daha sonra dokular % 0.25 eozin çözeltisi (HT110132, Sigma-Aldrich) kullanılarak boyanmıştır. Sonraki adımda ise sırasıyla % 70, % 95 ve % 100 etanol kullanılarak örneklerdeki su uzaklaştırılmıştır. Numunelere ksilen (534056, Sigma-Aldrich) ile muamele edilmiş ve ardından Permount (SP15, Fisher Scientific) ile lameller kapatılmıştır.

Dokulardaki glikozaminoglikan (GAG) yoğunluğunu incelemek için bir başka çalışmada bahsedildiği gibi toluidin mavisi (89640, Sigma-Aldrich) ile boyama yapılmıştır (Estes vd., 2010). Kısaca, Optimal Kesme Sıcaklığı Bileşiği (Tissue-Tek, Sakura) ve kriyostat kullanılarak elde edilen 10 µm kalınlığındaki numuneler PBS ile yıkanmış ve ardından % 0.25 (ağırlık/hacim) konsantrasyondaki toluidin mavisi çözeltisi kullanılarak doku kesitleri boyanmıştır. Örnekler distile su ile yıkanmış ve sırasıyla % 95 ve % 100 etanol ile dokulardaki su uzaklaştırılmıştır. Numunelere ksilen (534056, Sigma-Aldrich) uygulanmasından sonra Permount (SP15, Fisher Scientific) ile lameller kapatılmıştır.

### 2.3. DAPI Analizi

Hüresizleştirme etkinliğinin ve dokulardaki kalıntı DNA varlığının değerlendirilmesi için 4',6-diamidino-2-fenilindol (DAPI) (D9542, Sigma-Aldrich) boyaması yapılmıştır. DAPI stok çözeltisi (1 mg/ml) hazırlanmış ve metanol ile seyreltme yapılarak DAPI çalışma çözeltisi (1 µg/ml) elde edilmiştir. Optimal Kesme Sıcaklığı Bileşiği (Tissue-Tek, Sakura) ve kriyostat kullanılarak 10 µm kalınlığında kesit alınarak hazırlanan örnekler, 25 mm x 25 mm boyutlarındaki lamlara (72250-01, Electron Microscopy Sciences) aktarılmıştır. Lam üzerindeki örnekler, 6 kuyucuklu plakaya aktarılmış ve ardından DAPI çalışma çözeltisi kullanılarak yıkanmıştır. Daha sonra numunelerin üzerine kapatacak kadar DAPI çalışma çözeltisi kullanılmış ve 37°C'de 15 dakika inkübasyon yapılmıştır. DAPI çözeltisinin uzaklaştırılmasından sonra örnekler metanol ile muamele edilmiştir. 6 kuyucuklu plakaların kuyucuklarında bulunan ve üzerlerinde numuneler bulunan lamlar kuyucuklardan çıkarıldıktan sonra örnekler bir floresan mikroskobu (Zeiss Axio Scope A1, Zeiss, Almanya) kullanılarak 488 nm emisyon ve 340 nm eksitasyonda analiz edilmiştir.

### 2.4. DNA Miktar Tayini

Bu çalışma basamağında, numunelerin DNA içeriği, floresan test içeren bir DNA miktar tayini kiti ile ölçülmüştür. Hüresizleştirme işlemlerinden sonra, örnekler PBS ile yıkanmış ve Proteinaz K (0.1 mg/ml) (P6556, Sigma-Aldrich) içeren sindirme tampon çözeltisi (10 mM Tris (10812846001, Sigma-Aldrich), % 0.1 Triton X-100 (X-100, Sigma-Aldrich) ve 1 mM etilendiamin tetra asetik asit (EDTA) (ED, Sigma-Aldrich)) ile muamele edilerek 50°C'de gece boyunca inkübe edilmiştir. Süpernatantlar elde edilerek 10 kat seyreltilmiştir. Dokuların DNA içeriğini analiz etmek için floresan test içeren DNA miktar tayini kiti (DNAQF, Sigma-Aldrich) kullanılmıştır. Kitte bulunan floresan bir boya olan BisBenzimide Hoechst 33258, çift sarmallı DNA'ya bağlanabildiğinden dolayı floresan analizi yapmak için kullanılmıştır. Kısaca, 100 µg/ml ve 10 µg/ml DNA stok çözeltileri hazırlanmış ve daha sonra stok çözeltiler kullanılarak 0.1-100 ng/µl konsantrasyon aralığında standart çözeltiler hazırlanmıştır. Bir sonraki adımda, bisBenzimide Hoechst 33258 çözeltisi her bir örnekle karıştırılmış ve karışımlar 96 kuyucuklu bir plakaya aktarılmıştır. Daha sonra 96 kuyucuklu plaka, 360 nm'de eksitasyona ve 460 nm'de emisyonu ayarlanmış bir floresan plaka okuyucusunda (Agilent Cary Eclipse, Agilent, A.B.D.) okunmuştur.

### 2.5. Hücre kültürü

Hücre kültürü çalışmalarında, MRC-5 insan fibroblast hücreleri (ATCC-CCL-171, The American Type Culture Collection) kullanılmıştır. Hücreler, % 1 penisilin-streptomisin (P4333, Sigma-Aldrich), % 1 L-glutamin (59202C, Sigma-Aldrich) ve % 10 fetal sığır serumu (FBS) (F0804, Sigma-Aldrich) içeren Dulbecco Modifiye Eagle ortamı (DMEM) (D5671, Sigma-Aldrich) kullanılarak hücre kültür ortamında çoğaltılmıştır. MRC-5 hücre hattı % 95 nem ve % 5 CO<sub>2</sub> koşullarında 37°C'de inkübe edilmiştir. Her 2-3 günde bir hücre kültürü ortamı değiştirilmiştir. Çoğalan hücrelerin başka hücre kültür kaplarına pasajlanması için % 0.25 tripsin ve 1 mM EDTA (SM-2003, Sigma-Aldrich) kullanılmıştır.

### 2.6. Hücre Canlılığı

Hüresizleştirilmiş dokuların sitotoksitesisi, 3-(4,5-dimetiltiyazolil-2-il)-2,5-difeniltetrazolyum bromür (MTT) (475989, Sigma-Aldrich) yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. İlk olarak numuneler 1 mm kalınlığında ve 6 mm çapında kesilmiş, ardından % 70 etanol çözeltisinde 30 dakika bekletilerek steril edilmiş, steril PBS ile üç kez yıkanmış ve 96 kuyucuklu plakaya yerleştirilmiştir (Odabas vd., 2013). % 1 penisilin-streptomisin (P4333, Sigma-Aldrich), % 1 L-glutamin (59202C, Sigma-Aldrich) ve % 10 FBS (F0804, Sigma-Aldrich) ile takviye edilmiş fenol kırmızısı içermeyen DMEM (R7509, Sigma-Aldrich) kültür ortamında 10<sup>4</sup> adet MRC-5 fibroblast hücre boş kuyucuklara ve hüresizleştirilmiş numunelerin üzerine ekilmiştir. 24 saat ve 48 saat inkübasyondan sonra kültür ortamı uzaklaştırılmış ve hücre canlılığını analiz etmek için her bir kuyucuğa steril 50 µl MTT çözeltisi (1 mg/ml) içeren taze kültür ortamı (fenol kırmızısı içermeyen DMEM) aktarılmıştır (Ark vd., 2017). MTT içeren hücre kültür ortamı 3 saat inkübasyondan sonra kuyucuklardan uzaklaştırılmış ve ardından formazan kristallerinin çözülmesi için her bir kuyucuğa 160 µl dimetil sülfoksit ilave edilmiştir. Absorbans değerleri bir mikro plaka okuyucu (Biotek Epoch, Biotek, A.B.D.) kullanılarak 570 nm'de ölçülmüştür. Boş kuyucuklara ekilen hücrelerin hücre canlılığı değerleri kontrol grubu olarak alınmış ve kontrol grubunun absorbans değeri % 100 hücre canlılığı olarak kabul edilmiştir. Hüresizleştirilmiş örneklerin hücre canlılığı değerleri, kontrol grubu ile karşılaştırılarak belirlenmiştir.

### 2.7. Mekanik Test

Hüresizleştirilmiş ve kontrol numunelerinin çekme testi, dikdörtgen şekilli numuneler kullanılarak yapılmıştır. Bu amaçla; genişlik, kalınlık ve uzunluk ölçüleri sırasıyla 5 mm (± 0,06 mm), 1 mm (± 0,05 mm) ve 30 mm (± 0,09 mm) boyutlarında dikdörtgen şekilli örnekler hazırlanmıştır. Daha sonra dokulara, 100 N yük hücreli mekanik test makinesi (Shimadzu AG-IS, Shimadzu, Japonya) kullanılarak çekme testi uygulanmıştır. Numunelere 5 mm/dakika hızında tek eksenli çekme kuvveti uygulanmış ve elastik modülü belirlemek amacıyla kuvvet-uzama verileri elde edilmiştir. Gerilme-uzama eğrisinin doğrusal olan kısmının eğimi, örneklerin elastik modül değerleri olarak alınmıştır.

### 2.8. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

Hüresizleştirilmiş dokuların morfolojisini analiz etmek için SEM kullanılmıştır. Hüresizleştirilmiş örnekler, bir gece boyunca bir liyofilizatör (Christ Alpha 1-4 LD Plus, Christ, Almanya) kullanılarak liyofilize edilmiştir. Bunun ardından, liyofilize edilmiş doku örnekleri, altın/paladyum (40/60) ile kaplanmış ve bir SEM (Zeiss Sigma 300, Zeiss, Almanya) kullanılarak 5 kV'de analiz edilmiştir.

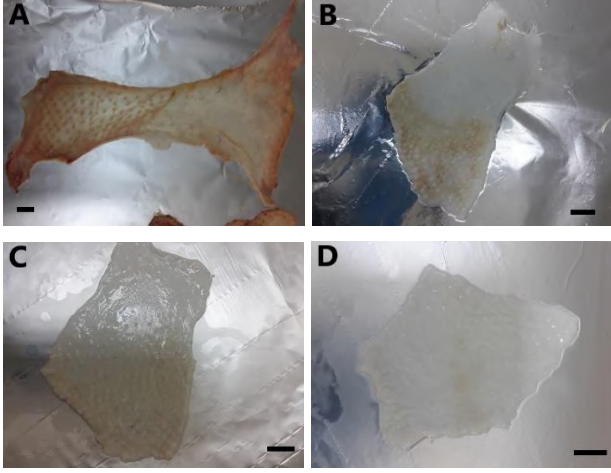
### 2.9. İstatistiksel analiz

DNA miktar tayini, mekanik test ve hücre canlılığı sonuçlarında istatistiksel olarak ikili karşılaştırmalar yapmak için Mann-Whitney testi kullanılmıştır. Bahsedilen basamaklardaki çalışmalardan elde edilen veriler, iki uçlu olarak değerlendirilmiş ve p < 0.05 olduğunda p değeri anlamlı kabul edilmiştir. Tüm veriler, artı veya eksi standart sapma ile ortalama değerler olarak gösterilmiştir. İstatistiksel analizler, IBM SPSS Statistics version 25 istatistik programı kullanılarak yapılmıştır.

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

#### 3.1. Hücresizleştirme

Doğal tavuk derisinin ve hücresizleştirilmiş dokuların makroskopik görüntüleri Şekil 1'de gösterilmiştir.



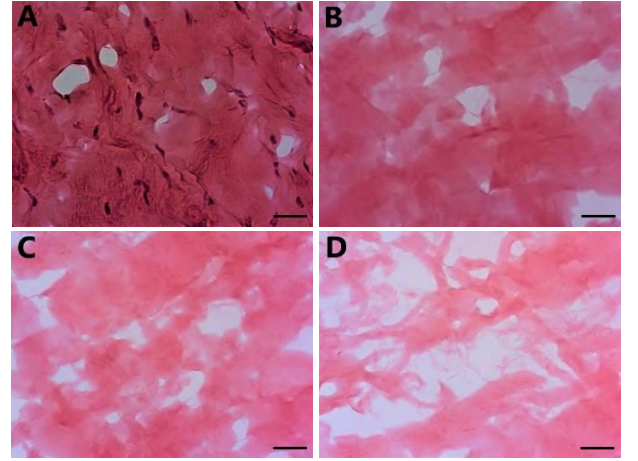
Şekil 1. Kontrol grubu (A), Grup 1 (B), Grup 2 (C) ve Grup 3 (D)'e ait makroskopik görüntüler. Ölçek çubukları 1 cm'yi göstermektedir.

Görüntüler, hücresizleştirme işlemi daha uzun süreler boyunca devam ettirildiğinde, numunelerin renklerinin daha beyaz hale geldiğini ve soluklaştığını göstermiştir. Hücresizleştirme işlemi uygulanmamış dokulara turuncu-açık kahverengi renk veren hücrelerin ve hücresel bileşenlerin Grup 1'deki örneklerle ait Şekil 1B'deki görüntülerde dokuda kaldığı gözlenmiştir. Bununla birlikte, hücresel bileşenlerin 24 ve 48 saatlik hücresizleştirme işlemlerinden sonra başarıyla uzaklaştırıldığı elde edilen makroskopik görüntülerle ortaya çıkarılmıştır (Şekil 1C ve Şekil 1D).

#### 3.2. Histolojik İncelemeler

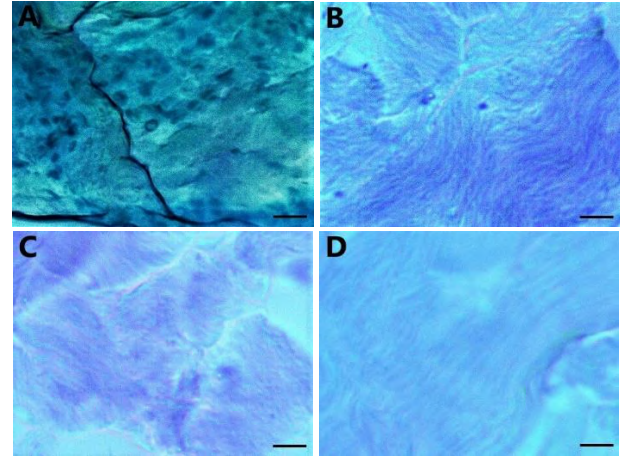
H&E boyama, hücresizleştirme metodlarının etkinliğini ve hücresizleştirilmiş örneklerin morfolojisini belirlemek için yapılmıştır.

Şekil 2A'da hücre çekirdeklerinin doğal tavuk derisinde açıkça görüldüğü, kollajen liflerinin ve ESM'nin kırmızı renkle gözlenebildiği ortaya çıkarılmıştır. Bununla birlikte, hücresizleştirilmiş tavuk derilerinde 6 saat, 24 saat ve 48 saat hücresizleştirme işlemlerinden sonra hücrelerin dokulardan tamamen uzaklaştırıldığı gözlenmiştir (Şekil 2B, Şekil 2C ve Şekil 2D). Ayrıca, 48 saatlik hücresizleştirmeden sonra, Şekil 2D'de dokuların renginin çok daha açık hale geldiği görülmüş olup bu durum özellikle kollajen lifler olmak üzere ESM kaybı olduğunu göstermiştir.



Şekil 2. Kontrol grubu (A), Grup 1 (B), Grup 2 (C) ve Grup 3 (D)'e ait H&E boyama görüntüleri. Ölçek çubuğu 50 µm'yi göstermektedir. Görüntüler 100X büyütme ile alınmıştır.

Doğal tavuk derisi ve hücresizleştirilmiş deri örneklerinde GAG yoğunluğunu incelemek için toluidin mavisi ile boyama yapılmıştır.



Şekil 3. Kontrol grubu (A), Grup 1 (B), Grup 2 (C) ve Grup 3 (D)'e ait Toluidin mavisi boyama görüntüleri. Ölçek çubuğu 50 µm'yi göstermektedir. Görüntüler 100X büyütme ile alınmıştır.

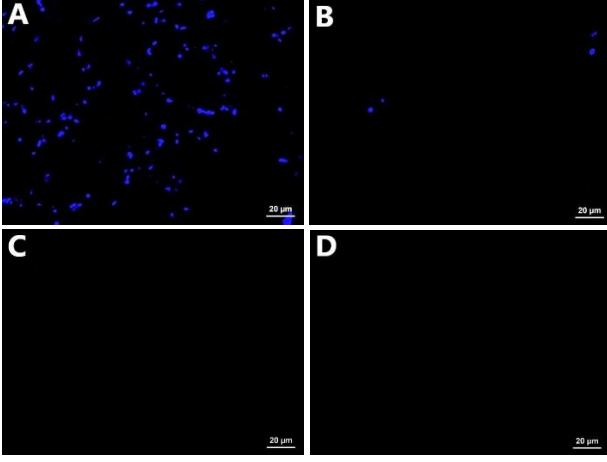
Şekil 3A'da, doğal tavuk derisindeki hücre çekirdeklerinin koyu mavi ile boyandığı gözlenmiştir. Öte yandan, hücresizleştirilmiş örneklerin görüntülerinde hücre bulunamamıştır (Şekil 3B, Şekil 3C ve Şekil 3D). Bu görüntülerle, hücresizleştirme işlemleri sırasında hücrelerin dokulardan uzaklaştırıldığı gösterilmiştir. Ayrıca, toluidin mavisi boyama görüntülerinden, hücresizleştirme süresi arttıkça mavi rengin daha açık hale geldiği ve bu nedenle örneklerdeki GAG miktarlarının azaldığı ortaya çıkarılmıştır.

H&E boyama görüntüleriyle gösterildiği gibi (Şekil 2), hücreler ve hücresel bileşenler 6 saat, 24 saat ve 48 saat sonra hücresizleştirilmiş numunelerden başarıyla uzaklaştırılmıştır. Ayrıca, toluidin mavisi ile yapılan boyama sonuçları incelendiğinde, numunelerde GAG yoğunluğunun azalmasının bir göstergesi olarak hücresizleştirme süresi arttıkça mavi rengin daha açık hale geldiği gösterilmiştir (Şekil 3). Tavassoli ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışmada, sığır eklem kıkırdağının hücresizleştirilmesi için 1, 4 ve 8 saat süreyle hücresizleştirme ajanı olarak % 2.5 konsantrasyonda sodyum dodesil sülfat (SDS) çözeltisi uygulanmış ve hücresizleştirme süresi arttırıldıkça

dokuların GAG içeriklerinin azaldığı ortaya çıkarılmıştır (Tavassoli vd., 2015).

### 3.3. DAPI Analizi

DAPI boyaması, hüresizleştirme yöntemleri uygulanmış dokular üzerinde hüresizleştirme etkinliğini analiz etmek için yapılmıştır.



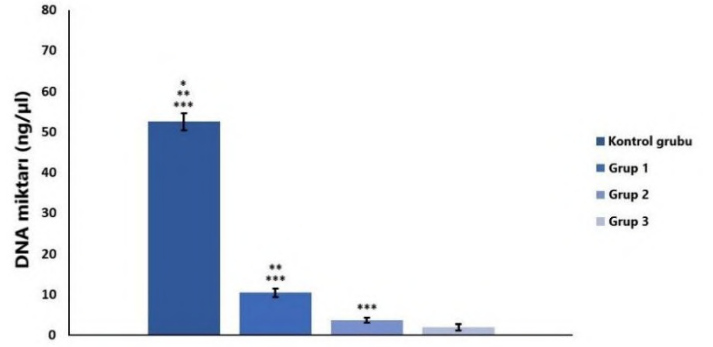
Şekil 4. Kontrol grubu (A), Grup 1 (B), Grup 2 (C) ve Grup 3 (D)'e ait DAPI boyama görüntüleri. Görüntüler 40X büyütme ile alınmıştır.

Şekil 4A'da, doğal tavuk derisinde hücre çekirdekleri olduğu gösterilmiştir. Ayrıca, Grup 1'e ait sonuçları gösteren Şekil 4B'de 6 saat sonra hüresizleştirilmiş numunelerde birkaç hücre çekirdeği olduğu ortaya çıkmıştır. Bununla birlikte, 24 saat (Şekil 4C) ve 48 saat (Şekil 4D) süresince hüresizleştirilmiş örneklerden elde edilen sonuçlar bu dokularda hiçbir DNA kalıntısı olmadığını göstermiştir. Alshaiikh ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada (Alshaiikh vd., 2019) 10 saat boyunca % 0.5 konsantrasyonda sodyum deoksikolat ile hüresizleştirilen fare ovariumunda DAPI boyaması sonucunda DNA kalıntıları gözlenmediği bildirilmiştir. Bahsi geçen çalışmada elde edilen DAPI boyama sonuçları ile sunulan çalışmada elde edilen DAPI boyama sonuçlarının birbiriyle tutarlı olduğu ortaya çıkmıştır.

### 3.4. DNA Miktar Tayini

Örneklerin DNA içerikleri Şekil 5'te gösterilmiştir. Hüresizleştirilmiş tüm dokuların, kontrol grubu olan doğal tavuk derisine ( $52.5 \pm 2.1$  ng/ $\mu$ l) kıyasla anlamlı ölçüde daha düşük DNA miktarlarına sahip oldukları elde edilen sonuçlarla ortaya çıkarılmıştır ( $p < 0.05$ ). 6 saat boyunca hüresizleştirme işlemi uygulanan Grup 1'den ( $10.5 \pm 1.1$  ng/ $\mu$ l) elde edilen sonuçlar, 24 saat ( $3.7 \pm 0.5$  ng/ $\mu$ l) ve 48 saat ( $1.9 \pm 0.8$  ng/ $\mu$ l) süresince hüresizleştirme yapılan dokulardaki veriler ile karşılaştırıldığında Grup 1'deki örneklerin Grup 2 ve Grup 3'teki numunelere göre anlamlı olarak daha yüksek DNA içeriğine sahip olduğu gösterilmiştir ( $p < 0.05$ ). Buna ek olarak, DNA miktar tayini sonuçları sayesinde, Grup 2'nin, Grup 3 ile karşılaştırıldığında önemli ölçüde daha fazla DNA içeriğine sahip olduğu ortaya çıkarılmıştır ( $p < 0.05$ ). Bu sonuçlar ışığında, Grup 3'teki dokuların en düşük DNA içeriğine sahip olduğu bulunmuştur.

48 saat boyunca hüresizleştirilmiş örneklerin en düşük DNA içeriklerine sahip olması nedeniyle, DNA miktar tayini verilerinin histolojik analiz sonuçlarıyla tutarlı olduğu gösterilmiştir (Şekil 5).



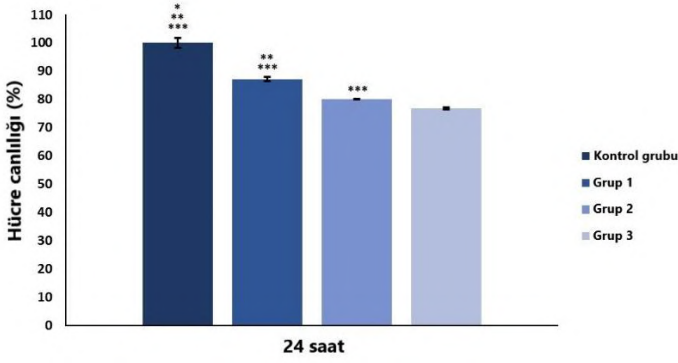
Şekil 5. Doğal tavuk derisi (kontrol grubu) ve hüresizleştirme işlemleri uygulanmış dokulardaki DNA miktar tayini çalışmasının sonuçları (\*\*\*, Grup 3 ile karşılaştırıldığında anlamlı fark vardır  $p < 0.05$ ; \*\*, Grup 2 ile karşılaştırıldığında anlamlı fark vardır  $p < 0.05$ ; \*, Grup 1 ile karşılaştırıldığında anlamlı fark vardır  $p < 0.05$ ).

Ayrıca, DNA miktar tayini çalışmasında, 6 saat süreyle hüresizleştirilmiş dokuların (Grup 1), 24 saat ve 48 saat süreyle hüresizleştirme işlemleri uygulanan örneklerle kıyasla daha yüksek miktarlarda DNA'ya sahip olduğu ortaya çıkarılmıştır. Bu nedenle, bu sonuçlar DAPI boyama sonuçlarını desteklemektedir çünkü 6 saat süreyle hüresizleştirilmiş dokuların DAPI boyama görüntülerinde bazı hücelere ait hücre çekirdekleri gözlenmiştir (Şekil 4B). Mirzarafie ve arkadaşları, tavuğun tendon, deri ve kaslarını hüresizleştirmek için SDS ve Triton X-100 deterjanlarını kullanmıştır. Fakat çalışmaları sınırlı bilgi sağlamıştır çünkü hüresizleştirme basamağında sonra dokulardaki hücrelerin uzaklaştırılmasını göstermek için yalnızca DNA miktar tayini ve MTT testi yapmışlardır (Mirzarafie vd., 2014). Söz konusu çalışmada, hüresizleştirme işlemlerinden sonra DNA içeriğinin neredeyse % 94'ünün dokulardan uzaklaştırıldığı rapor edilmiş olup bu bulguların, sunulan çalışmanın DNA içeriği verilerini desteklediği görülmektedir. Mirzarafie ve arkadaşlarının yaptığı çalışmaya kıyasla, sunulan bu çalışmanın hüresizleştirilmiş tavuk derisinin doku mühendisliği uygulamalarında doku iskelesi olarak kullanılması amacıyla hüresizleştirilmiş tavuk derisinin hazırlanması ve karakterizasyonu hakkında daha kapsamlı ve ayrıntılı bilgiler sağladığının vurgulanması gerekmektedir çünkü Mirzarafie ve arkadaşlarının yaptıkları çalışma sadece DNA ölçümü ile sınırlıdır. Başka bir çalışmada, hüresizleştirilmiş perikardın DNA içeriğinin 20 ng/mg DNA olduğu, ancak doğal perikardın DNA miktarının yaklaşık 2150 ng/mg olduğu ortaya çıkarılmıştır (Rajabi-Zeleti vd., 2014). Ayrıca, yapılan bir başka çalışmada 24 saat boyunca % 1 SDS ve nükleaz çözeltileri kullanılarak hüresizleştirme işlemi ile insan perikardındaki DNA'nın yaklaşık % 99'unun uzaklaştırıldığı gösterilmiştir (Jalili-Firoozinezhad vd., 2016). Bahsedilen çalışmaların DNA miktar analizi değerlerinin, sunulan çalışmanın DNA miktar tayini sonuçları ile tutarlı olduğu ortaya çıkmaktadır.

### 3.5. Hücre Canlılığı

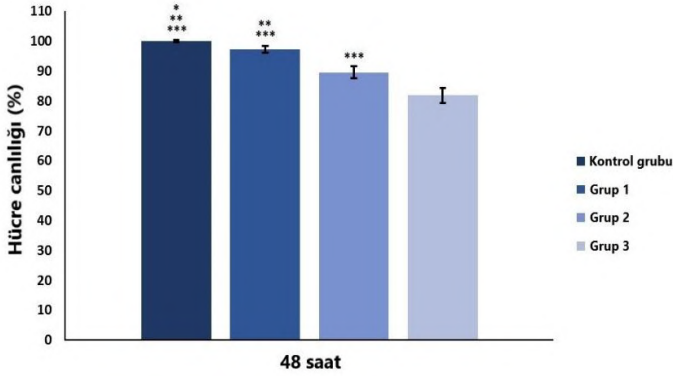
Çalışmanın bu basamağında, hüresizleştirilmiş dokuların üzerine ekilen hücrelerdeki hücre canlılığı seviyeleri 24 ve 48 saatlik süreler sonunda MTT testi ile belirlenmiştir. Hücre kültürü plakası kontrol grubu olarak kullanılmıştır. Numunelerin 24 ve 48 saat sonundaki MTT analiz sonuçları sırasıyla Şekil 6 ve Şekil 7'de gösterilmiştir.





Şekil 6. Kontrol grubunun ve hücrelesizleştirme işlemleri uygulanmış numunelerin 24 saatlik hücre canlılığı sonuçları (\*\*\*, Grup 3 ile karşılaştırıldığında anlamlı fark vardır  $p < 0.05$ ; \*\*, Grup 2 ile karşılaştırıldığında anlamlı fark vardır  $p < 0.05$ ; \*, Grup 1 ile karşılaştırıldığında anlamlı fark vardır  $p < 0.05$ ).

Şekil 6'da hücrelesizleştirilmiş tüm dokulardaki 24 saatlik hücre canlılığı sonuçlarının, kontrol grubuna (hücre kültürü plakası) göre anlamlı derecede düşük olduğu gösterilmiştir ( $p < 0.05$ ). Grup 1'deki örnekler ekilen hücrelerin 24 saatlik hücre canlılığı değerleri ( $87.1 \pm 0.8$ ), 24 saat (Grup 2) ve 48 saat (Grup 3) süresince hücrelesizleştirme işlemine uğrayan dokular üzerinde çoğaltılan hücrelerin hücre canlılığı seviyelerine göre anlamlı olarak daha yüksek bulunmuştur ( $p < 0.05$ ). Ayrıca, Grup 2'deki 24 saatlik hücre canlılığı düzeyi ( $80.0 \pm 0.1$ ), Grup 3'teki 24 saatlik hücre canlılığı değerleri ( $76.8 \pm 0.5$ ) ile karşılaştırıldığında, Grup 2'deki hücre canlılığı seviyesinin Grup 3'e göre anlamlı olarak daha yüksek çıktığı gösterilmiştir ( $p < 0.05$ ).



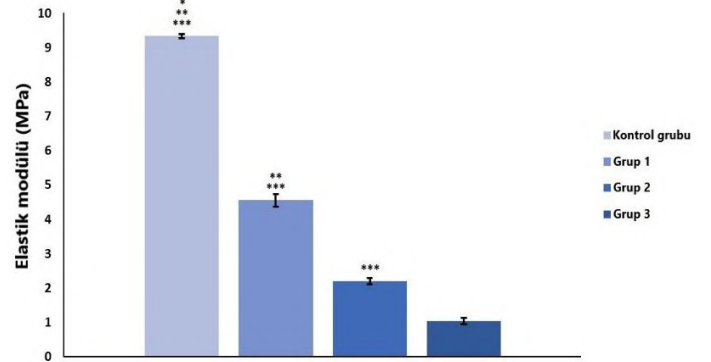
Şekil 7. Kontrol grubunun ve hücrelesizleştirme işlemleri uygulanmış numunelerin 48 saatlik hücre canlılığı sonuçları (\*\*\*, Grup 3 ile karşılaştırıldığında anlamlı fark vardır  $p < 0.05$ ; \*\*, Grup 2 ile karşılaştırıldığında anlamlı fark vardır  $p < 0.05$ ; \*, Grup 1 ile karşılaştırıldığında anlamlı fark vardır  $p < 0.05$ ).

48 saatlik hücre canlılığı analizi sonuçlarında (Şekil 7), kontrol grubundaki (hücre kültürü plakası) hücrelerin hücre canlılığı seviyelerinin, hücrelesizleştirme işlemine tabi tutulan tüm örneklerden anlamlı ölçüde daha yüksek olduğu bulunmuştur. Grup 1'deki dokular üzerinde çoğaltılan hücrelerin 48 saatlik hücre canlılık seviyelerinin ( $97.2 \pm 1.1$ ), 24 saat (Grup 2) ve 48 saat (Grup 3) süreyle hücrelesizleştirme işlemi uygulanan örneklerdeki 48 saatlik hücre canlılığı seviyelerine göre anlamlı olarak daha yüksek olduğu ortaya çıkarılmıştır ( $p < 0.05$ ). Diğer taraftan, Grup 2'ye ait 48 saatlik hücre canlılığı verilerinin ( $89.5 \pm 2.0$ ), Grup 3'e göre ( $81.8 \pm 2.6$ ) anlamlı olarak daha fazla olduğu gösterilmiştir ( $p < 0.05$ ).

Hücrelesizleştirilmiş tavuk derilerinin hücre canlılığı çalışmaları sonucunda, hazırlanan dokuların bir doku iskelesi olarak kabul edilebilir düzeyde hücre canlılığını destekledikleri bulunmuştur çünkü 48 saat sonundaki MTT değerlerine göre hücrelesizleştirilmiş dokular içerisinde en yüksek hücre canlılığı değerine sahip grup olan Grup 1'de bu değer yaklaşık % 97 ve en düşük grup olan Grup 3'te yaklaşık % 81 seviyelerinde olduğu gösterilmiştir. 48 saatlik MTT verilerine göre (Şekil 7), 6 saat süresince hücrelesizleştirilmiş numunelerin 24 saat ve 48 saat boyunca sodyum deoksikolat ile muamele edilen numunelere göre daha yüksek hücre canlılığı gösterdiği ortaya çıkarılmıştır. Ayrıca, hücrelesizleştirme süreci daha uzun süre devam ettirildiğinde hücre canlılığı değerlerinin azaldığı elde edilen bulgulardan açıkça görülmektedir çünkü en düşük hücre canlılığı verileri Grup 3'ten elde edilmiştir. Dokuların hücrelesizleştirme ajanları ile daha uzun süreler maruz bırakılmaları ile GAG ve ESM proteinlerinin kaybedilmesi, MTT sonuçları için bir açıklama olabilir çünkü daha uzun periyotlarda hücrelesizleştirilmiş dokuların üzerine ekilen hücrelerin bağlanma bölgeleri bulmaları daha zor olabilir. Fare ovaryumunun hücrelesizleştirilerek doku iskelesi olarak kullanılmasını amaçlayan bir çalışmada hücrelesizleştirme ajanları olarak sodyum deoksikolat, SDS ve Triton X-100 kullanılarak bunların doku üzerindeki etkileri karşılaştırılmıştır (Alshaiikh vd., 2019). Buna göre hücrelesizleştirme sürecinde SDS uygulanmasının doku bütünlüğü ve ESM üzerinde olumsuz etkileri olduğu gösterilirken sodyum deoksikolat kullanılmasının doku yapısını daha iyi koruduğu bildirilmiştir. Diğer taraftan, Triton X-100 kullanımının fare ovaryumunun hücrelesizleştirilmesinde etkili olmadığı rapor edilmiştir. Literatürdeki bu çalışma, sunulan çalışmada sodyum deoksikolat kullanılmasını destekleyici yönde sonuçlar sunmuştur.

### 3.6. Mekanik Test

Örneklerin elastik modülü değerleri, 6 saat, 24 saat ve 48 saat boyunca hücrelesizleştirilmiş dokulara uygulanan çekme testi sonuçlarıyla belirlenmiştir (Şekil 8).



Şekil 8. Kontrol grubunun ve hücrelesizleştirme işlemleri uygulanmış numunelerin elastik modülü değerleri (\*\*\*, Grup 3 ile karşılaştırıldığında anlamlı fark vardır  $p < 0.05$ ; \*\*, Grup 2 ile karşılaştırıldığında anlamlı fark vardır  $p < 0.05$ ; \*, Grup 1 ile karşılaştırıldığında anlamlı fark vardır  $p < 0.05$ ).

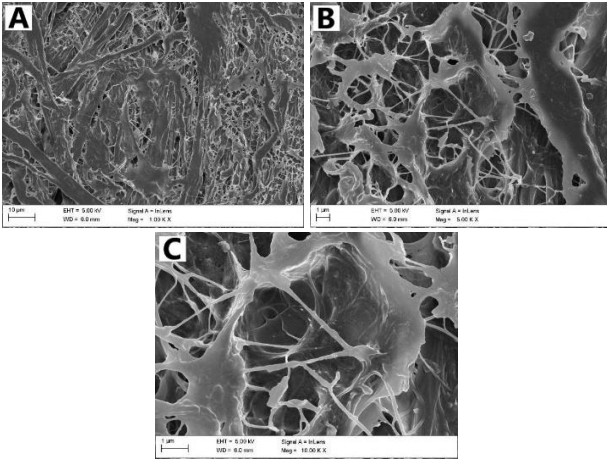
Mekanik analiz sonuçları incelendiğinde, kontrol grubu olan doğal tavuk derisinin ( $9.34 \pm 0.1$  MPa) hücrelesizleştirilmiş tüm dokulara göre anlamlı seviyede daha yüksek elastik modülüne sahip olduğu gösterilmiştir ( $p < 0.05$ ). Grup 1'deki numunelerin ( $4.56 \pm 0.2$  MPa), 24 saat (Grup 2) ve 48 saat (Grup 3) süresince hücrelesizleştirilmiş örneklere kıyasla anlamlı ölçüde daha yüksek elastik modülü gösterdiği ortaya çıkarılmıştır ( $p < 0.05$ ). Ayrıca

Grup 2'ye ait elastik modülü verileri ( $2.2 \pm 0.1$  MPa), Grup 3'teki elastik modülü değerleri ( $1.0 \pm 0.1$  MPa) ile karşılaştırıldığında aradaki farkın istatistiksel olarak anlamlı olduğu bulunmuştur ( $p < 0.05$ ). Mekanik test sonuçlarına göre, Grup 3'ün en düşük elastik modülü değerlerine sahip olduğu gösterilmiştir.

Mekanik test sonuçlarına göre, hücreleştirme sırasında numunelerin elastik modüllerinin azaldığı gösterilmiştir. Mekanik testler analiz edildiğinde, doğal tavuk derisinin, hücreleştirilmiş tüm dokularla karşılaştırıldığında önemli ölçüde daha yüksek elastik modülüne sahip olduğu ortaya çıkarılmıştır (Şekil 8). Elastik modülün azalması, hücreleştirme sırasında ESM'deki GAG ve proteinlerin kaybı ile açıklanabilir. Evans ve arkadaşları, hücreleştirilmiş karaciğer ve doğal karaciğer dokusunun elastik modülü değerlerinin sırasıyla 1.18 kPa ve 10.5 kPa olduğunu bildirmiştir (Evans vd., 2013). Buna ek olarak, Vishwakarma ve arkadaşları 4 saatlik hücreleştirmeden sonra hücreleştirilmiş meninkslerin gerilme mukavemetinin (yaklaşık 2.8 MPa), doğal meninkslerin gerilme mukavemetinden (yaklaşık 4.8 MPa) önemli ölçüde daha düşük olduğunu göstermiştir (Vishwakarma vd., 2018). Bu çalışmaların sonuçlarının, sunulan çalışmanın mekanik test verileri ile uyumlu olduğu açıktır. Sunulan çalışmada, hücreleştirilmiş tavuk derisi örneklerine ait elde edilen mekanik sonuçlar umut verici olarak görülmektedir. Bu sebeple, bu malzemenin deri hasarlarının onarılmasında bir biyomalzeme olarak kullanılma potansiyeli olduğu düşünülmektedir.

### 3.7. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

Hücreleştirilmiş örneklerin SEM görüntüleri Şekil 9'da gösterilmiştir.



Şekil 9. 24 saat boyunca hücreleştirme işlemi uygulanmış tavuk derisinin 100X büyütme (A), 500X büyütme (B) ve 1000X büyütme (C) SEM görüntüleri.

Hücreleştirme işlemi sırasında hücrelerin uzaklaştırılmış olduğu bu görüntülerle doğrulanmıştır. SEM görüntüleri ile hücreleştirilmiş dokuların fiber organizasyonu ve yapıları gösterilmiştir. Ayrıca bu görüntülerle, dokuların ESM yapıları ve fiberler arası boşlukları ortaya çıkarılmıştır. Sodyum deoksikolat ile hücreleştirilmiş dokulardaki fiber yapılarının ve genel morfolojilerinin iyi bir şekilde korunduğu bulunmuştur. Sun ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışmada tavşan trakesi % 4 sodyum deoksikolat kullanılarak 4 saat süresince 6 tekrar veya 7 tekrar olacak şekilde toplamda 24 saat veya 28 saat hücreleştirildiğinde, elde edilen SEM görüntüleriyle trake

dokusunun yapısının büyük oranda korunduğu gösterilmiştir (Sun vd., 2015). Bu sonuç ile sunulan çalışmadaki SEM görüntülerinden elde edilen sonuçların birbiriyle tutarlı olduğu görülmüştür.

## 4. Sonuç

Bu çalışmada hücreleştirilmiş tavuk derisinin hazırlanması ve karakterizasyonu detaylı ve kapsamlı bir şekilde yapılmıştır. Sodyum deoksikolat uygulanmasının hücreleştirme sürecinde doku yapısı ve morfolojisini genel olarak koruyarak hücreleri ve hücre bileşenleri dokudan etkili bir şekilde uzaklaştırdığı ortaya çıkarılmıştır. Hücreleştirilmiş tavuk derisinin, hücre tutunması, büyümesi ve proliferasyonunu destekleyen özellikte olduğu gösterilerek hazırlanan malzemenin biyoyoumlu olduğu kanıtlanmıştır. Sonuç olarak, bu çalışmadan elde edilen verilerle kolayca bulunabilen, ucuz ve biyoyoumlu bir malzeme olan hücreleştirilmiş tavuk derisinin, özellikle deri dokusu mühendisliği olmak üzere doku mühendisliği ile ilgili daha ileri çalışmalar için doku iskelesi hazırlanması amacıyla kullanılacak uygun bir biyomalzeme olduğu gösterilmiştir.

## Kaynakça

- Alshaikh, A. B., Padma, A. M., Dehlin, M., Akouri, R., Song, M. J., Brännström, M., & Hellström, M. (2019). Decellularization of the mouse ovary: Comparison of different scaffold generation protocols for future ovarian bioengineering. *Journal of Ovarian Research*, 12(1), 58. <https://doi.org/10.1186/s13048-019-0531-3>
- Ark, M., Ozdemir, A., Şimay Demir, Y. D., & İbişoğlu, B. (2017). *Hücre Kültürü ve Temel Moleküler Biyoloji Protokolleri*.
- Berthiaume, F., Maguire, T. J., & Yarmush, M. L. (2011). Tissue engineering and regenerative medicine: History, progress, and challenges. *Annual Review of Chemical and Biomolecular Engineering*, 2, 403-430. <https://doi.org/10.1146/annurev-chembioeng-061010-114257>
- Couteaudier, M., & Denesvre, C. (2014). Marek's disease virus and skin interactions. *Veterinary Research*, 45, 36. <https://doi.org/10.1186/1297-9716-45-36>
- Estes, B. T., Diekman, B. O., Gimble, J. M., & Guilak, F. (2010). Isolation of adipose-derived stem cells and their induction to a chondrogenic phenotype. *Nature Protocols*, 5(7), 1294-1311. <https://doi.org/10.1038/nprot.2010.81>
- Evans, D. W., Moran, E. C., Baptista, P. M., Soker, S., & Sparks, J. L. (2013). Scale-dependent mechanical properties of native and decellularized liver tissue. *Biomechanics and Modeling in Mechanobiology*, 12(3), 569-580. <https://doi.org/10.1007/s10237-012-0426-3>
- Gilbert, T. W., Sellaro, T. L., & Badyrak, S. F. (2006). Decellularization of tissues and organs. *Biomaterials*, 27(19), 3675-3683. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2006.02.014>
- Gilpin, A., & Yang, Y. (2017). Decellularization Strategies for Regenerative Medicine: From Processing Techniques to Applications. *BioMed Research International*, 2017, 9831534. <https://doi.org/10.1155/2017/9831534>

- Grauss, R. W., Hazekamp, M. G., van Vliet, S., Gittenberger-de Groot, A. C., & DeRuiter, M. C. (2003). Decellularization of rat aortic valve allografts reduces leaflet destruction and extracellular matrix remodeling. *The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*, 126(6), 2003-2010. [https://doi.org/10.1016/s0022-5223\(03\)00956-5](https://doi.org/10.1016/s0022-5223(03)00956-5)
- Inci, I., Norouz Dizaji, A., Ozel, C., Morali, U., Dogan Guzel, F., & Avci, H. (2020). Decellularized inner body membranes for tissue engineering: A review. *Journal of Biomaterials Science. Polymer Edition*, 31(10), 1287-1368. <https://doi.org/10.1080/09205063.2020.1751523>
- Jalili-Firoozinezhad, S., Rajabi-Zeleti, S., Marsano, A., Aghdami, N., & Baharvand, H. (2016). Influence of decellularized pericardium matrix on the behavior of cardiac progenitors. *Journal of Applied Polymer Science*, 133(14). <https://doi.org/10.1002/app.43255>
- Langer, R., & Vacanti, J. P. (1993). Tissue engineering. *Science (New York, N.Y.)*, 260(5110), 920-926. <https://doi.org/10.1126/science.8493529>
- Liao, J., Xu, B., Zhang, R., Fan, Y., Xie, H., & Li, X. (2020). Applications of decellularized materials in tissue engineering: Advantages, drawbacks and current improvements, and future perspectives. *Journal of Materials Chemistry B*, 8(44), 10023-10049. <https://doi.org/10.1039/D0TB01534B>
- Mirzarafie, A., Grainger, R. K., Thomas, B., Bains, W., Ustok, F. I., & Lowe, C. R. (2014). A fast and mild decellularization protocol for obtaining extracellular matrix. *Rejuvenation Research*, 17(2), 159-160. <https://doi.org/10.1089/rej.2013.1488>
- Odabas, S., Feichtinger, G. A., Korkusuz, P., Inci, I., Bilgic, E., Yar, A. S., Cavusoglu, T., Menevse, S., Vargel, I., & Piskin, E. (2013). Auricular cartilage repair using cryogel scaffolds loaded with BMP-7-expressing primary chondrocytes. *Journal of Tissue Engineering and Regenerative Medicine*, 7(10), 831-840. <https://doi.org/10.1002/term.1634>
- Rajabi-Zeleti, S., Jalili-Firoozinezhad, S., Azarnia, M., Khayyatan, F., Vahdat, S., Nikeghbalian, S., Khademhosseini, A., Baharvand, H., & Aghdami, N. (2014). The behavior of cardiac progenitor cells on macroporous pericardium-derived scaffolds. *Biomaterials*, 35(3), 970-982. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2013.10.045>
- Sun, F., Pan, S., Shi, H. C., Zhang, F. B., Zhang, W. D., Ye, G., Liu, X. C., Zhang, S. Q., Zhong, C. H., & Yuan, X. L. (2015). Structural integrity, immunogenicity and biomechanical evaluation of rabbit decellularized tracheal matrix. *Journal of Biomedical Materials Research Part A*, (103A), 1509-1519. <https://doi.org/10.1002/jbm.a.35273>
- Tavassoli, A., Matin, M. M., Niaki, M. A., Mahdavi-Shahri, N., & Shahabipour, F. (2015). Mesenchymal stem cells can survive on the extracellular matrix-derived decellularized bovine articular cartilage scaffold. *Iranian Journal of Basic Medical Sciences*, 18(12), 1221-1227.
- Vishwakarma, S. K., Bardia, A., Lakkireddy, C., Paspala, S. A. B., & Khan, A. A. (2018). Bioengineering Human Neurological Constructs Using Decellularized Meningeal Scaffolds for Application in Spinal Cord Injury. *Frontiers in*



# Investigation of the Agricultural Status of Rural Areas within the Boundaries of Istanbul Metropolitan Municipality

Merve Birinci<sup>1\*</sup>, Leyla Suri<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Istanbul Commerce University, Faculty of Science, Department of Urban Systems and Transport Management, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-5960-3496), [merve.birinci@istanbulticaret.edu.tr](mailto:merve.birinci@istanbulticaret.edu.tr)

<sup>22</sup> Istanbul Commerce University, Faculty of Architecture and Design, Department of Architecture, İstanbul, Turkey (ORCID: 0000-0002-3225-1221), [lsuri@ticaret.edu.tr](mailto:lsuri@ticaret.edu.tr)

(First received 18 May 2021 and in final form 20 November 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.939141)

**ATIF/REFERENCE:** Birinci, M., Suri, L. (2021). Investigation of the Agricultural Status of Rural Areas within the Boundaries of Istanbul Metropolitan Municipality. *European Journal of Science and Technology*, (27), 1018-1031.

## Abstract

Since land, one of the natural life resources, is a scarce resource, it should be evaluated based on its potential. In cities with a rapidly growing population, residential areas tend to expand into agricultural areas that have the potential to feed the urban population. It is observed that the expansion activities gained momentum as the borders of metropolitan municipalities are expanded to the provincial borders. Metropolitan municipalities were first expanded to the provincial border in İstanbul and Kocaeli in accordance with the 2004 Law on Metropolitan Municipalities. With the amendment to the Law numbered 6360 & enacted in 2012, all metropolitan municipalities were expanded to the provincial borders, the jurisdiction of the municipalities was expanded, and the status of rural areas was changed with the execution of the law. Villages were transformed into neighborhood's and became natural extensions of cities. In this study, the urban population and average production values within the provincial borders of İstanbul were examined together, and the availability of agricultural areas, the effects and benefits of meeting the food needs in the city were examined. Thus, the rural areas within the boundaries of the metropolitan municipality; It has been tried to emphasize that making a land management plan taking into account the existence of agricultural land and meeting food production from the close vicinity of the city as much as possible have a multifaceted effect on the sustainability of natural resources.

**Keywords:** İstanbul Metropolitan Municipality, rural area, rural neighborhood, agriculture.

## İstanbul Büyükşehir Belediye Sınırlarında Kalan Kırsal Alanların Tarımsal Durumunun İncelenmesi

### Öz

Doğal yaşam kaynaklarından biri olan toprak, kıt bir kaynak olması nedeniyle potansiyelleri doğrultusunda değerlendirilmelidir. Nüfusu hızla artan kentlerde yerleşim alanları kentte yaşayan insanları besleme potansiyeli olan tarım alanlarına doğru genişleme eğilimindedir. Genişleme faaliyetlerinin, büyükşehir belediyeleri sınırlarının il sınırlarına dayandırılması ile hız kazandığı görülmektedir. Büyükşehir belediyeleri ilk olarak 2004 yılında çıkarılan Büyükşehir Belediyesi Kanunu kapsamında İstanbul ve Kocaeli ilinde il sınırına genişletilmiştir. 2012 yılında çıkarılan 6360 sayılı yasadaki değişikliklerle bütün büyükşehir belediyeleri il sınırlarına dayandırılmış, belediyelerin yetki alanları genişletilmiş ayrıca yasa uygulamaya geçirildiğinde kırsal karakterde olan alanlar statü değiştirmiştir. Köyler mahalle konumuna dönüştürülerek kentlerin doğal uzantıları niteliği kazanmıştır. Bu çalışmada İstanbul il sınırları içinde kent nüfusu ve ortalama üretim değerleri birlikte irdelenerek yasa kapsamında statüsü değişen ancak halen tarım karakterini koruyan kırsal karakterdeki alanların tarıma elverişli olma durumları, kent içinde gıda ihtiyaçlarının karşılanmalarına etkileri ve yararları incelenmiştir. Böylelikle, büyükşehir belediyesi sınırları içinde kalan kırsal alanların; tarımsal arazi varlığının dikkate alınarak arazi yönetim planı yapılması ve gıda üretiminin mümkün olduğu kadar kentin yakın çevresinden karşılanmasının doğal kaynakların sürdürülebilirliği üzerinde çok yönlü etkisinin olduğu vurgulanmaya çalışılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** İstanbul Büyükşehir Belediyesi, kırsal alan, kırsal mahalle, tarım.

\* Sorumlu Yazar: [merve\\_birinci91@hotmail.com](mailto:merve_birinci91@hotmail.com)

## 1. Introduction

The global population has been increasing rapidly and the majority of people live in metropolitan cities. While the total world population was 2.54 billion in 1950, it became 7.63 billion in 2018 and 7.794 billion in 2020 (Url-1). According to the official United Nations World Urbanization Prospects: The 2018 Revision report on urban and rural populations, globally, approximately 30% of the world's population in 1950 and 55% in 2018 resided in urban areas. In 2018, the urban population was 4.22 billion (55.3%) and the rural population was 3.41 billion (44.7%). It is estimated that this rate will be 68% in 2050 (United Nations, 2019).

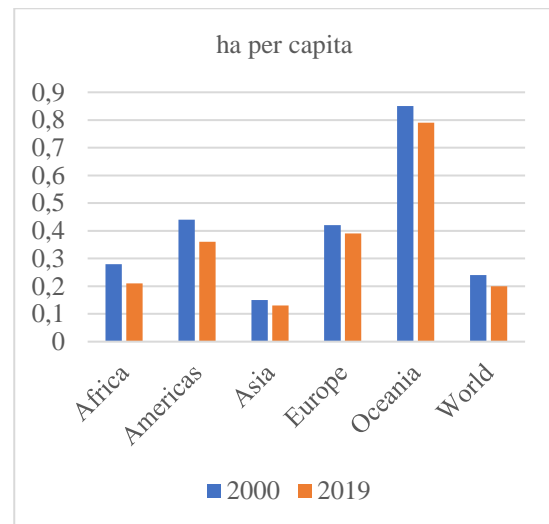
Turkish Statistical Institute (TURKSTAT) considers the population living in provincial and district centers as urban population, and the population of other settlements as rural population. In a study examining the change in the rural population in Turkey between 1980 and 2012, based on TURKSTAT criteria and data, the rural population comprised 76% of the total population in 1927. This ratio did not change much until 1950. However, people migrated from rural areas into metropolitan cities with the industrial activities across the country after 1950 thus, cities began to change and grow. Especially in the 12-year period between 2000 and 2012, the rural population decreased rapidly, and the rural population, which was approximately 24 million, decreased to 17 million. According to 2012 data, the rural population constitutes approximately 23% of the country's population. The rate of rural population living in towns and villages decreased to 7% in 2019 (TURKSTAT, 2020a). Many factors such as the establishment of new provinces and districts and the expansion of municipal borders, the mechanization of agriculture, the continuous division of agricultural lands into small units by inheritance, and the migration movements of cities due to business, education and health opportunities have affected the change in the total rural population of our country and the rural population of the provinces. In addition, the median age in rural settlements has become quite high compared to the past. The decrease in the rural population also means a decrease in agricultural and animal production (Yilmaz, 2019).

Cities need sustainable natural resources to feed their populations with healthy food. Rural areas with high agricultural productivity located in the cities are vital in satisfying this need and should be evaluated based on their potential.

In 2019, global farmland area was 4.8 billion ha, down 3% or 0.13 billion hectares (ha) from 2000. Approximately 2/3 (3.2 billion ha) of agricultural land was used as permanent meadows and pastures, and 1/3 (1.6 billion ha) was used as cultivated land. Between 2000 and 2019, agricultural land decreased by 127 million hectares. Although agricultural land has decreased since 2000, it increased by an average of 0.1% per year during the 1961-2019 period, with a significant expansion until the 1990s. The regional distribution of global cultivated land area has changed little from 2000 to 2019, with Asia having the largest share of global cropland in 2019 (38%), followed by the Americas (24%), Europe (19%), Africa (18%) and Oceania (2%). Nonetheless, there were differences in cropland expansion in different regions during this period – Oceania and Africa both had rapid growth in arable land area (24% and 20%, respectively), while Asia showed more moderate growth (5%). In 2019, 12% of global permanent meadows and pastures

belonged to China, 10% to Australia and 8% to the United States of America. In the same year, India (11%), the United States of America (10%) and China (9%) had the largest shares in global cultivated areas. Extensive grassland versus croplands in agricultural land may indicate intensive livestock practices as opposed to harvesting crops.

Cropland area per capita decreased in all regions between 2000 and 2019 as population increased faster than cropland. The world average declined by 17% to 0.20 ha per capita in 2019; the decrease was the largest in Africa (-26%, to 0.21 ha per capita), followed by the Americas (-18%, to 0.36 ha per capita), Asia (-15%, to 0.13 ha per capita), Europe (-8%, to 0.39 ha per capita) and Oceania (-7%, to 0.79 ha per capita) (Figure 1). Against this backdrop, the increase in agricultural production over the same period indicates higher efficiency in feeding the population with limited land resources. The countries with the highest cropland area per capita are Kazakhstan, Australia and Canada, due to vast areas of land available over sparsely populated areas. Other reasons for high values include the intense use of agricultural inputs over cropland and dependencies on agricultural imports or food aid (FAO, 2021).



**Figure 1.** Cropland Area Per Capita By Region (FAO, 2021)

According to the use of agricultural lands in Turkey in 2019, 14,617 thousand hectares are permanent meadows and pastures, and 23,099 thousand hectares are cultivated lands. Arable land per capita (ha) decreased from 0.42 to 0.28 between 2000 and 2019 (FAO, 2021).

The concept of rural area is handled with different parameters in different countries, it is a very comprehensive concept that countries are still working on. In recent years, environmental problems encountered in densely populated settlements have caused disturbance of the natural balance considerably revealed the importance of rural areas. In addition, epidemics in the world have shown how important it is to provide sufficient food production and easy access to food.

The share of employment in agriculture, forestry and fishing declined globally by about 13 percentage points between 2000 and 2020, to 27.4%. Yet, agriculture remains the second largest source of employment worldwide after the services sector. A decline in the share of the agricultural sector is usually linked to growing income levels, which explains the drop in the share of employment in agriculture across all regions and nearly all the

countries. The COVID-19 pandemic broke this overall declining trend: while employment dropped in all sectors due to the COVID-19 restrictions, resulting in an increase of the share of agricultural employment in all regions except Europe between 2019 and 2020. The lowest share of employment in agriculture was observed in Europe in 2020, where only 5.2% of the employed population had a job in agriculture. The highest share was observed in Africa with 49.5% of the total employed population (FAO, 2021).

In the last 5 years, the number of people working in the agricultural sector in Turkey decreased by 14% to 4,716,000 people. In Turkey, the agricultural sector has a 17.9% share among other sectors (TURKSTAT, 2021).

Various rural areas emerge in cities as a result of natural processes and human interventions that have distinct socio-cultural characteristics and where activities such as agriculture, forestry, recreation are carried out (Urgenc, 2000). The natural and sociocultural elements within the scope of rural areas are shown in Figure 2.

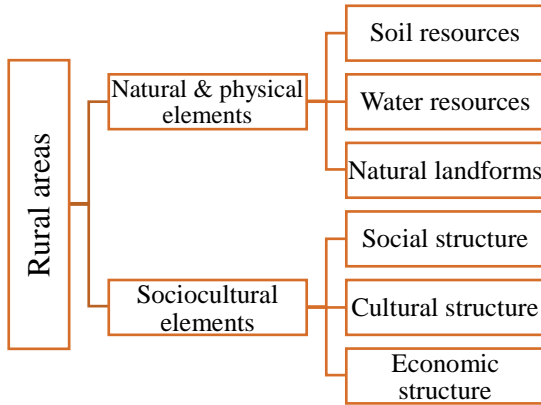


Figure 2. Rural Area Elements (created based on Urgenc, 2000.)

Through their soil and water resources, agricultural lands in rural areas provide a source of economic livelihood for farmers and meet the food needs of the city.

According to The State of Food Security and Nutrition in the World (2019), it is estimated that more than 2 billion people do not have regular access to safe, nutritious, sufficient food. The number of undernourished people has been on the rise since 2015 (FAO, 2019). Hunger is on the rise, with almost 770 million people undernourished in 2020, 118 million more than in 2019. While most of the undernourished people live in Asia, Africa has reached the peak of malnutrition (FAO, 2021). Therefore, it is extremely important to use soil resources that can meet the food need and cannot be recovered once lost.

In Turkey, as in other countries, urban administrative units can cover rural areas and show rural-oriented characteristics in terms of population structure, land use and economic structure.

New legal arrangements are introduced to ensure that services can be provided from a single center in a more regular manner and without any confusion about authority in the management system of metropolitan cities that have an increasing population across the country. Accordingly, in 2004, Istanbul and Kocaeli were selected as pilot regions, their jurisdictions were expanded to the provincial border and this practice was intended to be extended for the integrity and efficiency of services. In accordance with the Law No. 6360 that

was promulgated on 06/12/2012 but where some articles were enacted after the local elections in Turkey held on 30/03/2014, the borders of all metropolitan cities were expanded to the provincial borders and legal entity status of villages and towns were abolished.

Changing the status of all villages within the boundaries of metropolitan municipalities to neighborhood also bring the expectations of evaluating villages as rural areas. This transformation of villages will increase the misuse of agricultural lands may cause the destruction of fertile agricultural lands, losing the opportunity to benefit from lands in line with their functions, so complete loss of natural resources. It is thought that food production in rural areas will be adversely affected and create problems on livelihoods. One of the most important objectives of the study is to investigate the potentials in the specified areas.

Thus, in connection with the rural areas located within the boundaries of the metropolitan municipality, it is important to:

- Prepare a land management plan taking into account the agricultural land assets,
- Emphasize the multi-faceted impact of producing food from the immediate surroundings of the city to the full extent possible on the sustainability of natural resources.

In this research, determining the existing agricultural potentials of rural settlements that have gained rural neighborhood status within the borders of Istanbul Province, which was chosen as a field study, and determining the approximate production information that can be met with the related analyzes gives the original value of the research.

## 2. Material and Method

The study consists of three stages. In the first stage; definitions of the concept of rural area were made by taking the existing laws and practices. In this context, the data of various ministries, especially the Ministry of Agriculture and Forestry (TOB), the activity reports of the Istanbul Metropolitan Municipality (IMM), and the strategic plans of the studies were examined. The rural area legislation has been explained in detail through the administrative structure of the concepts explained by the literature review.

In the second stage, the development of the municipal structure is focused on the formation of metropolitan municipalities. The change of metropolitan municipality borders over the provincial borders of Istanbul has been examined.

In the third stage, according to the current definition of rural area, rural area boundaries in the studied sample area; It was formed based on the provincial borders of Istanbul. In this context, it provides explanatory information about agricultural data and populations of rural areas, based on the research conducted by IMM in 2017, regarding villages and towns that were administratively reclassified as rural neighborhoods. TOB 2019 Istanbul province land use data and crop production data were used. In line with these data, the plant production areas and quantities used are revealed. The population of rural neighborhoods, aging and agricultural productivity trends were examined through the IMM 2017 land use class map and analysis. For a more detailed classification of agricultural lands, the proportional distribution and amounts of AKK classes are given by using the IMM 2009 Land Use Capability (AKK)

Classes Map data. According to these data, the current arable land classes (I-IV) were calculated, and when these agricultural lands were evaluated, it was tried to determine the amount of agricultural production on rural areas in the metropolitan area.

The findings show results regarding the population that will feed the city of Istanbul. Calculations were made based on the above-mentioned land use data, 2018 population, TOB fruit and vegetable production data, and average consumption values obtained from IMM, and assumptions were made regarding the potential population.

## **2.1. Concept of Rural Area**

The definition of rural area was discussed by researchers over the years there is no generally accepted common definition. (Ilbery, 1998). Studies reveal that further analysis is required on the definition of rural area (Clope & Park, 1985). In the first planning studies of England in the 1970s, the concept of green infrastructure (Natural England) emerged as an expression of the holistic approach between urban and rural (Tuna, 2021).

The most common example of defining the rural area is “An Index of Rurality for England and Wales” conducted by Cloke in 1977. This classification system has been recognized and used by the Department of the Environment (Halfacree, 1993).

Population size and density, the predominant type of economic activity, conformity with legal and administrative status, as well as specific services and facilities are prominent criteria to define rural and urban areas. In many Latin American countries, a population threshold of 2000 or 2500 is used to define urban areas. In South Asian countries—Pakistan, Sri Lanka, Nepal—areas having administrative institutes (municipalities, councils, committees) are declared as urban. Moreover, many African countries define urban with respect to administrative, demographic, and infrastructure characteristics. Consequently, low population and housing density, high dependence on natural resources for livelihood, limited infrastructure, and social services can characterize rural areas (Jamshed et al. 2020).

Different criteria are used in our country for defining rural areas, and demographic structure takes priority for geographers, social structure takes priority for sociologists and economic and administrative structure takes priority in the legal definition (Cetiner, 1980).

When the Rural Development Plans are examined, the first report where the concepts of “rural area” “agricultural area” and “rural development” “agricultural development” are stated to be different is the Eighth Five-Year Rural Development Report of the Specialization Commission. In this report, the concept of “rural area” which is deemed appropriate to be described as “spaces outside of urban settlements” is defined as space with descriptive concrete-objective elements. In Turkey, rural area is defined as “spatial size where individuals who cannot benefit from social security (job opportunities, insurance, pension, education, health and cultural activities) sufficiently constitute the majority and which covers provinces other than metropolitan settlements, districts, villages, hamlets within the increased number of provinces, i.e., 81 (DPT, 2000).

The Eleventh Rural Development Report of Special Commission Report emphasizes that shaping the definition of rural area based on a single factor is not adequate; however, a new definition specific to rural area has not been made. As a

general statement, sparsely populated areas with a wide natural environment where the dominant economic activity is agriculture are considered rural areas (Ministry of Development, 2018).

According to the National Rural Development Strategy (2014-2020) Reported, which entered into force in 2015, two different definitions are used by TURKSTAT in statistics. The administrative status shapes the first definition. Settlements other than city district centers, including towns, are included in the definition of the villages and the city. The population threshold shapes the second definition, and provincial district centers, towns, and villages with less than 20,000 are accepted as “rural settlements”. Since 1988, TURKSTAT has prepared its statistics based on these definitions by noting the distinction between rural and urban areas. However, amendments in 2012 to the Law No. 6360 made it difficult to determine the scope of rural areas and brought out the necessity of renewing the definition of rural areas. Current definitions made by TURKSTAT continue to be used until the aforementioned studies are completed (GTHB, 2015).

As it can be inferred from the explanations above, different definitions can be made of rural areas in districts with defined borders at the provincial level. Rural areas are referred to in the definitions as “rural area” or “rural settlement” but these definitions actually mean different things. In the definition of rural areas, it is necessary to take into account the natural characteristics of lands as well as the demographic, social, legal approaches.

### **2.1.1. Key Legislation on Rural Area**

The laws, which were promulgated in the Official Gazette (OG) after the proclamation of the Republic, shaped the administrative structure, jurisdiction and duties of the departments providing services to the rural areas. After 1960, development plans were put into practice in an attempt to resolve basic problems in rural areas. However, developments related to planning and implementation were limited. The laws and regulations were examined in detail by years and the resulting regulations were included.

**Village Law:** Pursuant to this law, which was enacted in 1924 and was the first regulation for villages, which are the smallest settlements in rural areas, locations with a population of less than 2,000 individuals are called “village”; locations with a population of 2,000-20,000 are called “towns” and those with a population of more than 20,000 are called “city”. All the fields, vineyards, gardens, meadows, olive groves, etc. that customarily belong to the village as well as houses, fields and pastures scattered in the mountainous and forested areas that are located within the borders of the village are considered to belong to the nearest village, and the lands, mountains, forests and plateaus that lay between two villages and thus, ambiguous are excluded from the boundaries of village (OG, 1924).

Pursuant to the 1985 Zoning Law and the Regulation for Unplanned Areas Zoning Regulation, new arrangements were made for village settlements that are outside the borders of municipality (OG, 1985a). This law and regulations continued to be applicable to spaces that abandoned their village status to be transformed into neighborhoods in accordance with the (2012) Law No. 6360, have population of less than 5,000 people and preserve their the rural settlement characteristics. (OG, 2012).

**Forest Law:** Under the Law No. 3537 enacted in 1937, the title of forests the rights of villagers to benefit from forests were defined. The Law also aimed to protect forests and prevent impairing conditions (OG, 1937).

Regulations on the use of forest land by forest villagers were included in the Forest Law No. 6831, which was enacted in 1956. The General Directorate of Forestry is authorized by this law for works in state-owned forests and a forestation can be implemented according to their plans (OG, 1956).

Pursuant to the Regulation on Supporting the Development of Forest Villagers (1997), the improvement and utilization of lands such as pastures, winter pastures that could be turned into fertile agricultural lands in areas outside the forest boundaries and the development of forest villagers who would settle in these areas were supported (OG, 1997).

**Law on Services to Villages:** “General Directorate of Rural Services”, one of the departments providing services to rural areas, was established with the Law No. 3202 and dated 1985. Efficient use, protection and development of soil and water resources, ensuring the proper use of agricultural lands, cooperating with other organizations for this purpose, making non-arable lands suitable for agriculture, establishment of on-farm systems for the convenient use of water in agricultural areas and consolidation of degraded lands where agricultural production is not made were included in the roles of the General Directorate of Rural Services (OG, 1985b).

The General Directorate of Rural Services was abolished by the Law No. 5286 dated 2005 and transferred to metropolitan municipalities in Istanbul and Kocaeli provinces, of which powers relied on the provincial borders for the first time, and to Special Provincial Administrations in other provinces (OG, 2005a).

**Pasture Law:** The Law No. 4342 & dated 1998 states that the right to usufruct of pastures and summer and winter pastures may belong to one or more villages or municipalities, these areas cannot be used for other purposes, their boundaries cannot be changed, but the right to usufruct may be leased (OG, 1998).

The law aims to ensure that pastures, summer and winter pastures and meadows are inspected and protected, to change their usage patterns when necessary, to allocate such fields on behalf of village or municipal legal entities, to increase their productivity and to sustain them by carrying out maintenance or rehabilitation activities (OG, 1998).

The Law No. 6360 and dated 2012 stipulates that village guards will continue their duties in rural areas such as forests, pastures, meadows, summer and winter pastures, which were transformed from the village status to the neighborhood status and they may exercise the rights under the Village Law No. 442, Pasture Law No. 4342 other relevant laws, and takes the rights granted to villagers and forest villagers under protection (OG, 2012).

**Law on Soil Conservation and Land Use:** The Law No. 5403 & dated 2005 emphasizes the importance of local, regional, country-scale land use plans drawn up by the Ministry or authorized institutions and organizations in order to conserve the soil and prevent misuse of agricultural lands (OG, 2005b).

**Agriculture Law:** The Law No. 5488 & dated 2006 authorizes the Ministry with other relevant public bodies in connection with rural areas. It aims to secure rural development  
*e-ISSN: 2148-2683*

by stating that rural development plans, programs, projects and agricultural support activities in Turkey will contribute not only to agriculture but also to the social economic development of the rural population (OG, 2006).

With the implementation of the Strategic Environmental Assessment Regulation, which entered into force on 08.04.2017; The Ministry of Environment and Urbanization aims to protect and develop natural assets, prevent pollution, protect cultural heritage and develop sustainable plans by taking into account human health, population, migration movements and economic impacts. This regulation has been a very comprehensive legislation that determines the framework of investments prepared by public institutions in many sectors such as tourism, transportation, industry, energy, agriculture and concerns different stakeholder groups (Dikmen, 2019).

The ministerial authorizations in connection with the land use plan and rural development plan are included in some laws such as the Law on Soil Conservation and Land Use and Agriculture Law. In addition to the authority of the Ministry of Agriculture and Forestry in this regard, the Ministry of Environment and Urbanization is also authorized to make upper-level plans, which may result in confusion of authority. It is of paramount importance that the plans in different fields are consistent with each other. Therefore, the authorized institutions organizations work in coordination.

## **2.2. Developments in Public (Municipal) Housing**

Istanbul Sehremaneti Administration, the first legal establishment of the municipality, was set up upon the official notification dated 1854 (Hijri). After the proclamation of the Republic, occidental urban planning and municipality establishment works, which were launched in the Ottoman period, were accelerated and the “1876 (Hijri 1293) New Wilayat (Provincial Municipalities) Law” and the “1921 (Hijri 1340) Ankara City Hall Law” were repealed and the Municipality Law No. 1580 was enacted in 1930. Until 1954, the municipality and the special administration were integrated in Istanbul and continued in the form of a unified administration structure. The 1961 Constitution on local administrations divided the administration in the country into “central administration” and “local administration”, and created a framework that would enable municipalities to develop more autonomously stronger (Suri & Kansu, 1999).

Apart from the central municipality, Kartal, Tuzla and Silivri municipalities also served in Istanbul before the proclamation of the Republic and 5 new municipalities, i.e., Catalca, Maltepe, Pendik, Sile and Yalova, were set up in 1923-1930. Kucukcekmece, Buyukcekmece Municipalities were set up in 1950-1960 and 24 new municipalities were established in 1960-1978 around Istanbul Central Municipality (Suri & Kansu, 1999).

The Statutory Decree No. 195 promulgated in the Official Gazette (OG) in 1984 aimed to establish a two-tier management style by establishing metropolitan and district municipalities. Accordingly, central districts were recognized as separate districts and a “metropolitan municipality” bearing the name of the “Buyuksehir” and “district municipalities” named after the districts within the borders of the metropolitan municipality were formed. In accordance with the Law No. 3030, which was enacted in the same year, metropolitans adopted a different



management style as “metropolitan cities” (OG, 1984; as cited in Suri & Kansu, 1999).

Towns established according to the Law No. 7469 enacted on 04/05/1960 and “town municipalities” that were located within the metropolitan municipality borders specified in the Law No. 3030 and excluded from the powers of Metropolitan Municipality, shown in Figure 3, existed. Tuzla, Pendik, Kartal and Umraniye district municipalities were under the responsibility of Istanbul Metropolitan Municipality, but Sultanbeyli district, Alemdag, Samandira, Sarigazi, Sultanciftligi and Yenidogan town municipalities were out of this responsibility during this period. In other words, although some towns were within the jurisdiction of the metropolitan municipality, they were left as independent municipalities outside the authority of the metropolitan municipality. When evaluated from the perspective of the integrity of space, planning and services, this resulted in a complex structure (Suri, 2004).

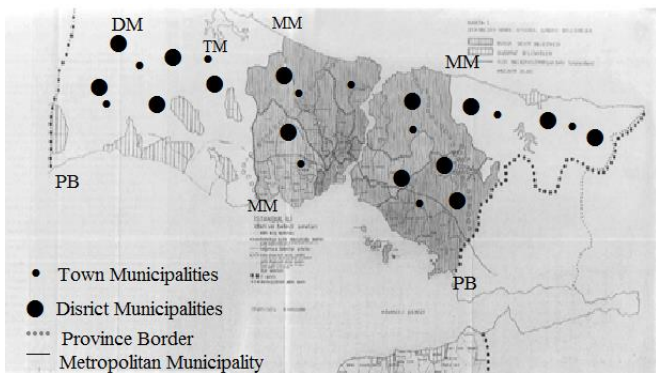


Figure 3. Municipality Borders in the Period when Metropolitan Municipalities were Established (Suri, 1984)

Upon the enactment in 2004 of the Law No. 5216, which reconstructed the powers of the Metropolitan Municipality, Law No. 3030 was abolished.

### 2.2.1. Authority and Boundary Changes in Metropolitan Municipalities pursuant to the Metropolitan Municipality Law No. 5216

Pursuant to the Law No. 5216, which was enacted in 2004, the town municipalities within the boundaries of the metropolitan municipalities were rescinded. The structure of metropolitan city was classified as “metropolitan, district and first-tier municipalities”. Metropolitan, district and first-tier municipalities were authorized to protect agricultural lands additionally water basins and to carry out reforestation (OG, 2004).

The boundaries of Istanbul and Kocaeli metropolitan municipalities were extended to the provincial administrative boundaries, and the legal personalities of the villages and towns within the boundaries of metropolitan municipality terminated and they were transformed into neighborhoods pursuant to this law. The legal personality of the forest villages in rural areas was stated to be maintained in accordance with the same law.

The Municipal Law No. 5393, adopted in 2005, handled the municipality, town and neighborhood administrative units holistically (OG, 2005c). Pursuant to this law, both the Metropolitan Municipality Law No. 5216 and the Municipal Law No. 5393 started to be executed in metropolitan municipalities.

### 2.2.2. Rescinding Some First-Tier Municipalities with Law No. 5747

Legal personalities of some of the first-tier municipalities within the metropolitan cities specified in the law were rescinded and they were added to the district municipalities where they were located as a neighborhood or a part of neighborhood in accordance with the Law No. 5747 on the Establishment of District Municipalities within the Boundaries of Metropolitan Municipalities and Amendments to Certain Laws that entered into force in 2008 (OG, 2008).

In 2012, first-tier municipalities were rescinded in all metropolitan cities, and the municipal structure was reorganized as metropolitan and district municipalities in accordance with the Law No. 6360 (OG, 2012).

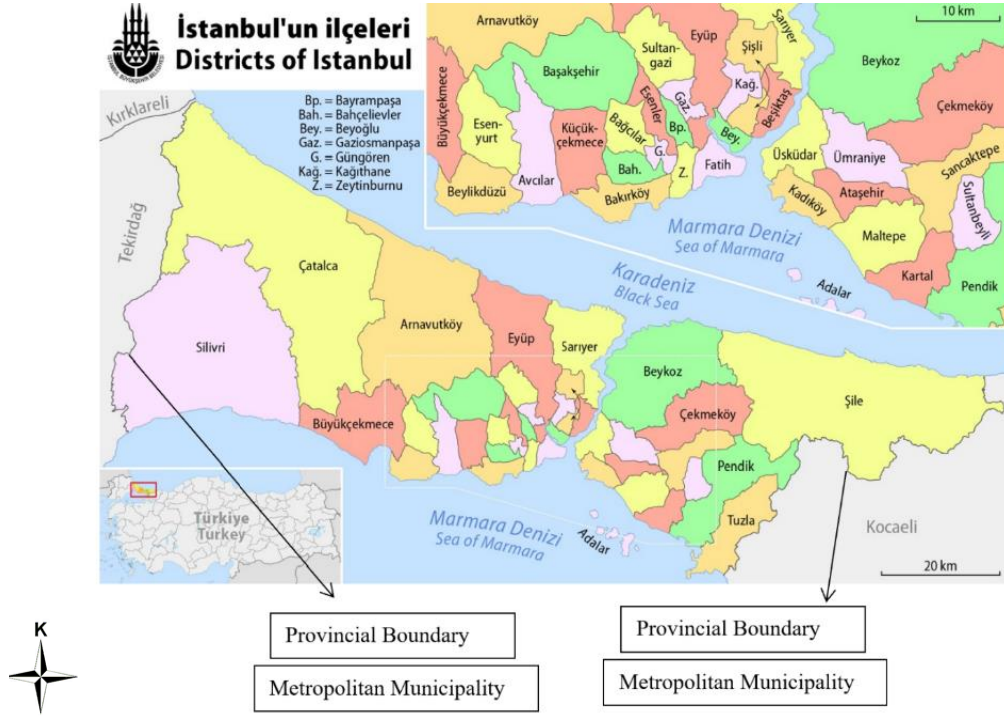
### 2.2.3. Extending the Metropolitan Municipalities to the Provincial Administrative Boundaries and Status Changes with Law No. 6360

Pursuant to the Law No. 6360, enacted in 2012, new metropolitan municipalities were established and the borders of all metropolitan municipalities were extended to the provincial administrative boundaries. The legal personalities of villages and town municipalities in all metropolitan cities were rescinded with this law, and villages were added as neighborhoods and municipalities were added as a single neighborhood with the name of the town into the district municipalities they were affiliated (Figure 4).

Within the scope of Law No. 6360, the first-tier municipalities were abolished and only the definitions of metropolitan and district municipalities were included. In addition, in provinces that became metropolitan municipalities, the legal personalities of the provincial special administrations were terminated, and they were attached to the relevant units of local or central bodies.

With the changes in the structure of metropolitan cities, the metropolitan and district municipalities were authorized to carry out all types of activities and services to support agriculture with the Law No. 6360, in order to provide services to the areas preserving their rural characters. However, no regulation was made to determine rural areas (OG, 2012).

Considering the issues specified in the Law No. 7254 enacted on 16/10/2020, it is stated that the neighborhoods that have been transformed into neighborhoods within the boundaries of metropolitan municipalities and detected to have the characteristics of rural settlement can be accepted as “rural neighborhoods”, but the qualification of rural neighborhood or rural settlement area can be removed with the procedure set forth in the law (OG, 2020).



**Figure 4.** Transforming Villages and Towns into Neighborhood Status by Extending the Metropolitan Municipalities to the Provincial Administrative Boundaries (Url-2, 2021)

### 3. Results and Discussion

#### 3.1. Agricultural Potentials of the Rural Neighborhoods within the Provincial Boundaries of Istanbul

The rural neighborhoods are under housing pressure in metropolitan cities with rapidly increasing population. On the other hand, all food needs in the metropolitan cities are met from long distances. Plans should be handled with a holistic approach (Aksu, 2014). In 2019, household consumption expenditures in Turkey were realized in Istanbul metropolis, which has the highest population, with a share of 24.4% (TURKSTAT, 2020b).

The research will be carried out within the scope of the Istanbul metropolis, as it proposes values that will make the maximum contribution to the city's environment and the country in general and sets an example for other metropolitan cities in a global competitive environment. Revealing the current agricultural potential of the city will create a significant amount of added value in and around the city.

Maintaining the sustainability of the natural resources by using the existing lands in rural neighborhoods in the optimum manner in line with the natural resources, and the ability of the potentials in these areas to meet a specific part of the food needs of the people living in the metropolitan cities will be beneficial in many aspects.

The province of Istanbul, chosen as the study area, is a large city located between 41°61' – 40°79' north latitudes and 27°94' – 29°97' east longitudes having the Black Sea in the north, the Sea of Marmara in the south and the Bosphorus (Istanbul Strait) in the middle, connecting Asia and Europe. Neighboring Kocaeli in the east, Tekirdag and Kırklareli in the west, Istanbul is surrounded by the Black Sea in the north, the Sea of Marmara and the Golden Horn in the south. The Princes' Islands in the Sea of Marmara are also included in Istanbul province. Istanbul is the center and a global city of both the Marmara Region and Turkey (Url-3).

With the Metropolitan Municipality Law No. 5216, the boundaries of the Istanbul Metropolitan Municipality (IMM) have extended to the provincial administrative boundaries and increased to 5343,02 km<sup>2</sup> from 1830,92 km<sup>2</sup> (IMM, 2009).

There are 39 districts and 962 neighborhoods within the span of authority of the IMM. With the Law No. 6360, 151 villages were added as neighborhoods to the district municipalities as of 30/03/2014 (Url-4). These neighborhoods were defined as "rural neighborhoods" with the Law No. 7254 enacted in 2020. The rural neighborhoods are mostly concentrated in areas with natural resources in the north of Istanbul, as shown in Figure 5. However, there are also areas with rural characteristics, except for the stated neighborhoods.

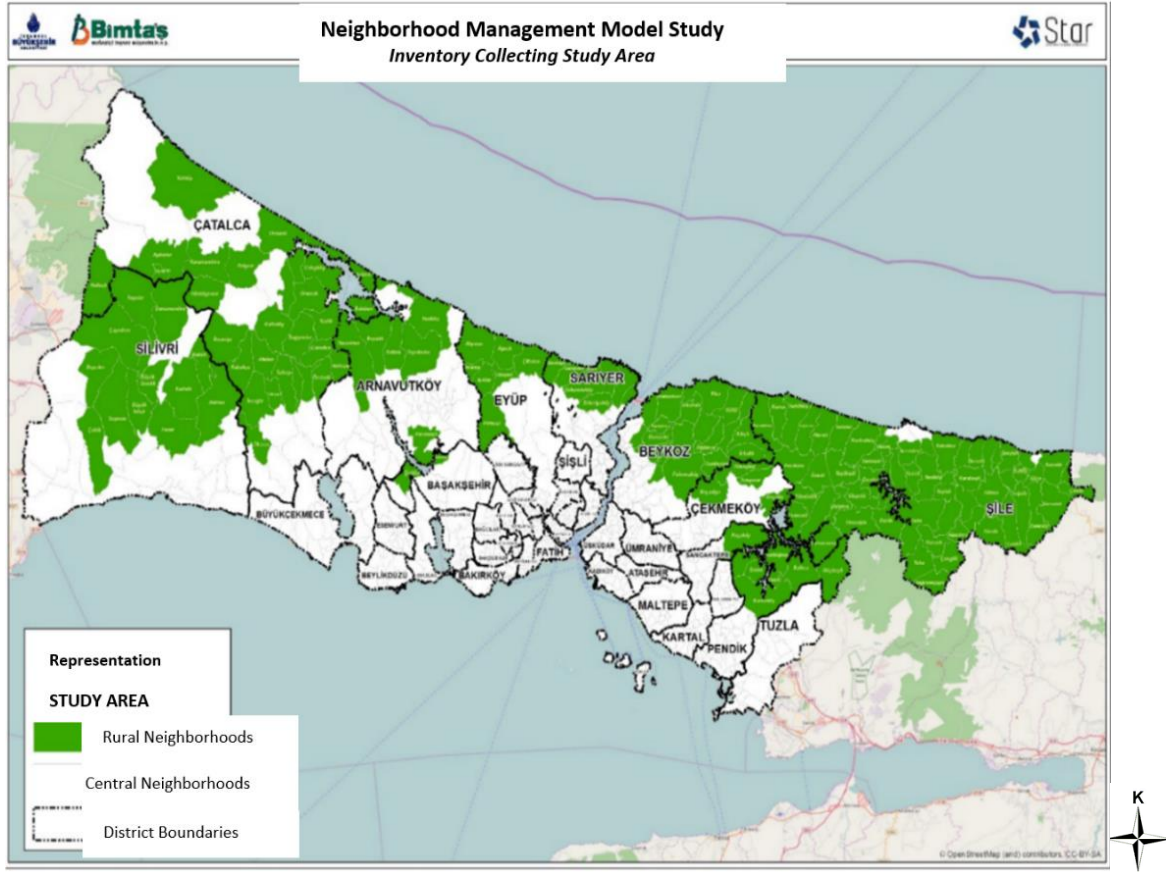


Figure 5. Rural Neighborhoods within the Provincial Boundaries of Istanbul (IMM, 2017)

151 rural neighborhoods within the provincial borders of Istanbul; There are 57 of them in Şile, 27 of them in Çatalca, 20 of them in Beykoz, 13 of them in Silivri, 8 of them in Arnavutköy and Sarıyer, 7 in Eyüpsultan, 5 in Pendik, 4 in Çekmeköy and one in Başakşehir and Sancaktepe (IMM, 2017).

When the population distribution of the districts where rural neighborhoods are located between 2011 and 2020 is examined, the total population of rural neighborhoods has increased over the years.

It is seen that the highest population increase is in the rural neighborhoods of Sarıyer district. In the rural neighborhood of

Başakşehir district, the population suddenly decreased by 3,500 compared to the next year after 2012, and continued to decrease at the same levels in the following years (TURKSTAT, 2020a) (Table 1).

In the IMM rural neighborhood survey, it was observed that the distribution of people by age groups was 20% for the population over 60, 16.2% for the 50-59 age group, and 15.6% for the 20-29 age group. Since a large part of the population is in the active population (15-65), it is possible to say that it is young and economically active (IMM, 2017).

Table 1. Population Trends of Rural Neighborhoods by Districts (TURKSTAT, 2020a)

Districts with Rural Population	2011	2012	2013	2014	2015	2020
Arnavutkoy	7.983	8.134	8.188	8.192	8.879	9.303
Basaksehir	4.103	5.081	1.496	1.455	1.440	1.236
Beykoz	25.209	25.988	27.704	26.557	27.347	28.600
Catalca	26.787	26.604	26.595	26.506	26.378	26.813
Cekmeköy	4.886	4.892	5.048	5.012	5.113	5.488
Eyupsultan	6.802	7.042	6.546	6.905	6.765	6.400
Pendik	3.628	3.597	3.540	3.562	3.455	3.819
Sancaktepe	1.660	1.686	1.644	1.703	1.746	1.708
Sarıyer	31.617	31.924	34.169	36.122	39.252	40.967
Silivri	12.517	12.322	12.357	12.083	11.968	11.808
Şile	15.996	16.958	17.683	18.485	18.884	20.545
<b>Total</b>	<b>143.199</b>	<b>146.240</b>	<b>146.983</b>	<b>148.596</b>	<b>153.242</b>	<b>156.687</b>

### 3.1.1. Agricultural Land Use of Istanbul

With the Law No. 5403 on Soil Preservation and Land Use, “agricultural lands” where fertile soils exist are classified as absolute, marginal, special product, cultivated agricultural lands according to their usage (OG, 2005b). In Figure 6 and Figure 7, various land use and land cover studies carried out by IMM in different years are given below.

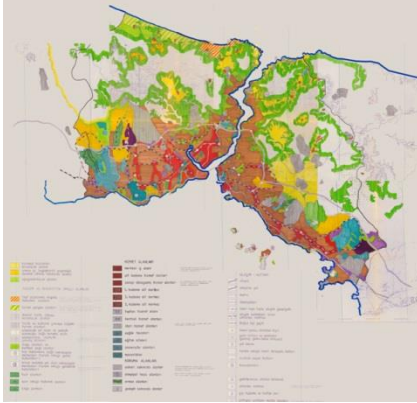


Figure 6. 1/50,000 scale Istanbul Metropolitan Area Sub-region Master Plan (IMM, 1994)

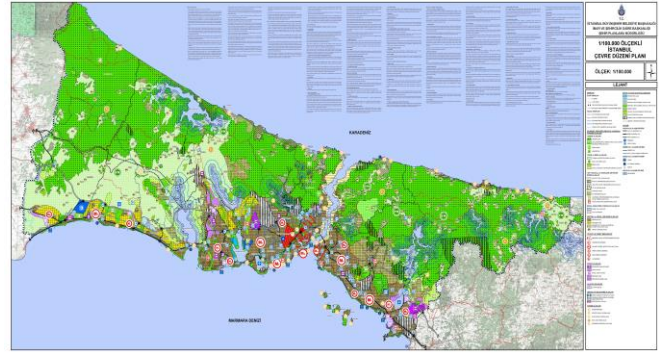


Figure 7. 1/100,000 scale Istanbul Provincial Environmental Plan (IMM, 2009)

The land use in the province of Istanbul in 2017 is shown in Figure 8. Table 2 includes the amount of agricultural lands in 2019. Accordingly, there is a total of 98,607 ha of agricultural land in Istanbul (TOB, 2019).

Tablo 2. Size of Agricultural Lands of Istanbul (TOB, 2019)

Distribution of Agricultural Lands	Amount (ha)
Dry Absolute Agricultural Land	72,670
Irrigated Absolute Agricultural Land	6,600
Dry Marginal Agricultural Land	15,424
Irrigated Marginal Agricultural Land	120
Dry Special Product Land	251
Irrigated Special Product Land	811
Greenhouse	136
<b>Total</b>	<b>98,607</b>

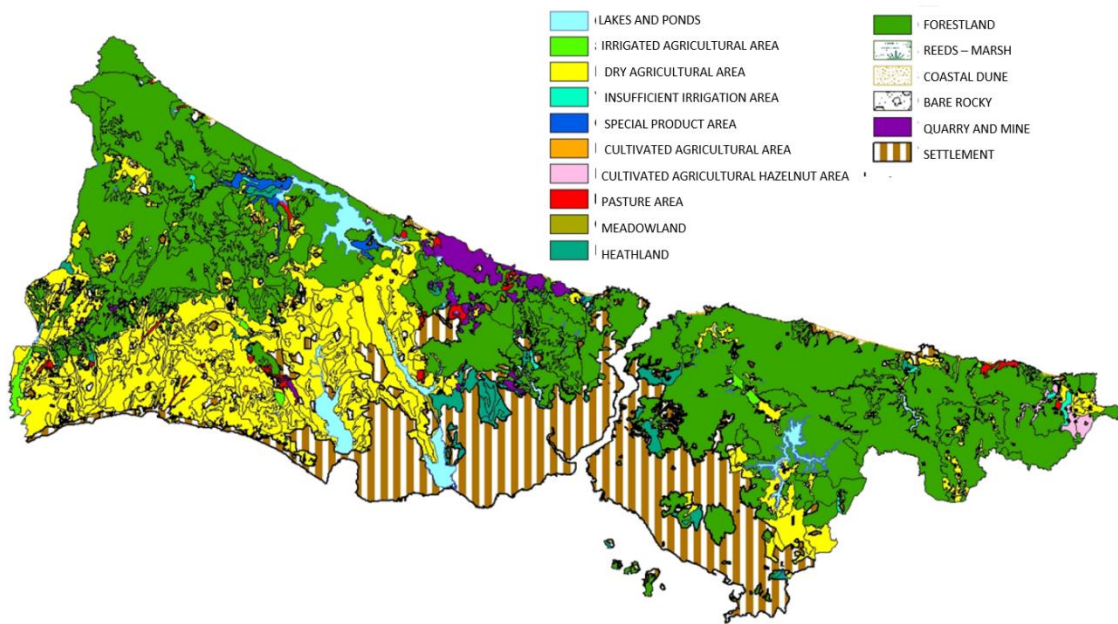


Figure 8. Map of Land Use of Istanbul Province (IMM, 2017)

Agricultural areas in the whole of Istanbul are concentrated in the rural areas of Çatalca and Silivri districts in the western part of the European side, Beykoz on the north coast of the Anatolian side, Şile in the northeast, and Çekmeköy districts in the interior. Forestlands are widely located in the northern parts of both the Anatolian and European sides.

As shown in Figure 9, 18.1% agricultural land, 1.1% pasture-meadowland, 43.6% forest and heathland, 35.1% non-agricultural area and 2.1% lake and dam area are available according to forms of land use within the provincial boundaries of Istanbul (TOB, 2019).

This classification, which can be defined as a general land classification system rather than a soil classification feature, is mostly used for the purpose of land use planning at macro level. Land use classes are required for a more detailed classification. For this purpose, Istanbul province 2009 AKK maps were used.

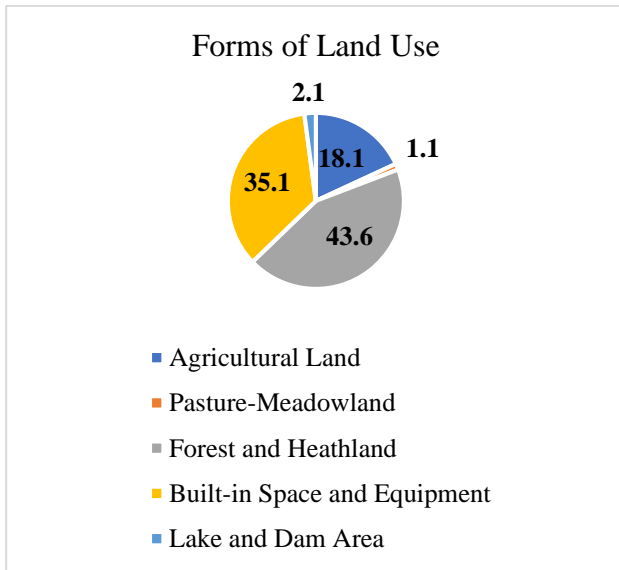


Figure 9. Forms of Land Use of Istanbul Province (TOB, 2019)

### 3.1.2. Land Use Capability (LUC) Classes of Istanbul Province

It is required to make land use plans in accordance with the characteristics of the land in order to know the soil better and to benefit from it more efficiently and sustainably by preventing its degradation. Soil surveys are performed and the soil classes of the land are determined in line with these plans (IMM, 2009).

According to the Soil and Land Classification Standards Technical Instruction Report prepared by the Ministry of Agriculture and Forestry in accordance with the Law No. 5403, lands are classified among the 1<sup>st</sup> class, where the most fertile agriculture can be done, and 8<sup>th</sup> class lands, which are not suitable for agriculture and can only be utilized as recreation areas or national parks (TOB, 2012). In Table 3, the suitability of LUC classes for agriculture is shown, and in Figure 10, the map of LUC within the boundaries of IMM is given.

Table 3. Suitability for Agriculture of LUC Classes (IMM, 2017)

Classes of Land	Suitability for Agriculture
1 <sup>st</sup> Class	The most fertile agricultural land
2 <sup>nd</sup> Class	Pretty good agricultural land
3 <sup>rd</sup> Class	Agricultural land with medium fertility
4 <sup>th</sup> Class	Lands with restricted use in agriculture (meadow, pasture, etc.)
5 <sup>th</sup> Class	Lands that will be suitable for agriculture after improvement
6 <sup>th</sup> Class	Special product land
7 <sup>th</sup> Class	Non-agricultural lands
8 <sup>th</sup> Class	Non-agricultural lands

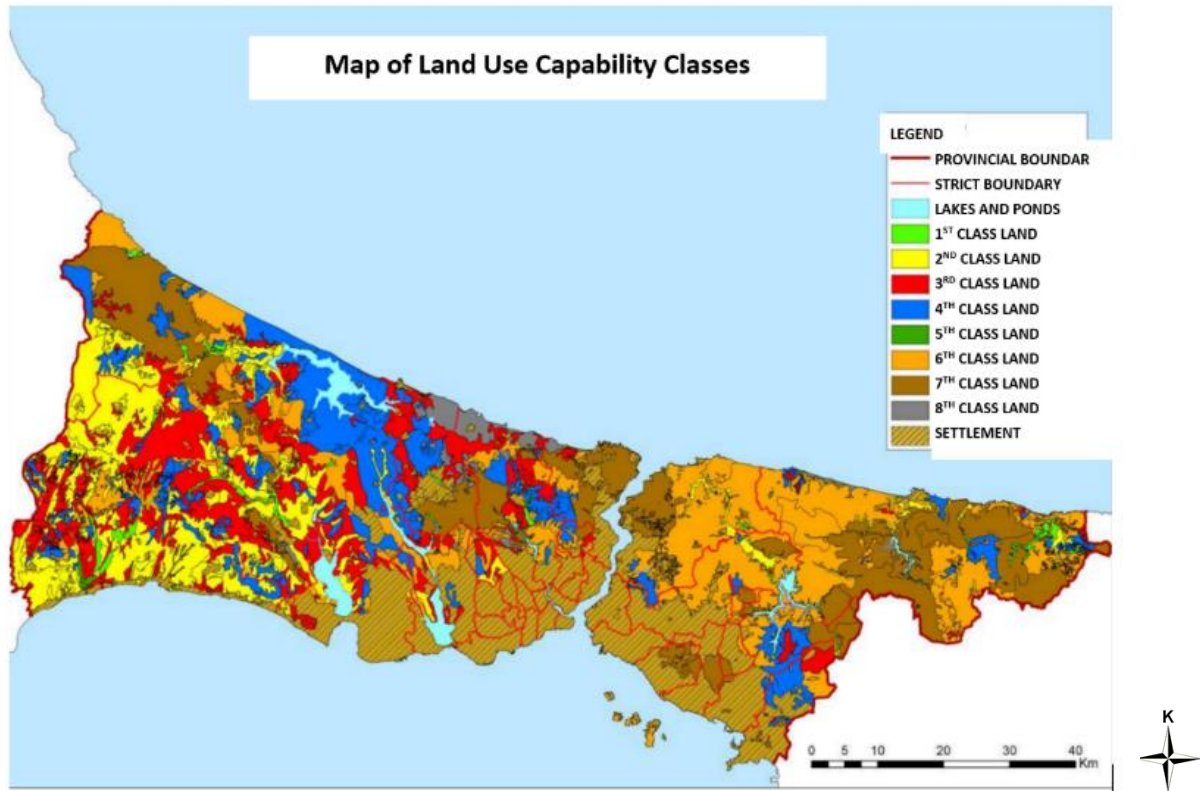


Figure 10. Land Use Capability Classes of Istanbul Province (IMM, 2009)

When the distribution of LUC in the province of Istanbul is examined, 1<sup>st</sup> class lands are very rare and located in the northeastern and western parts. 2<sup>nd</sup> class lands are centered in the western and northwestern parts of the European side. 3<sup>rd</sup> class lands are generally distributed in large parts in the south of the Anatolian side and throughout the European side and primarily in the northern part together with the 4<sup>th</sup> class lands. There are scarcely any 5<sup>th</sup> class lands, and 6<sup>th</sup> class lands are mostly common in the middle and northern parts of the European side and in the north of the settlement areas of the Anatolian side. 7<sup>th</sup> class lands are mainly in the northwest and northeast of the European side and in the eastern part of the Anatolian side. 8<sup>th</sup> class lands are distributed in the northwestern part towards the Black Sea coasts (Figure 10).

Although Istanbul seems quite limited in 1<sup>st</sup> class lands due to its rough topography, slope, erosion and other factors restricting soil use, 2<sup>nd</sup>, 3<sup>rd</sup>, 4<sup>th</sup> class lands, where agriculture can be done after soil improvement, are of great importance. 1<sup>st</sup>, 2<sup>nd</sup>, 3<sup>rd</sup> class lands account for only 35.6% (146,599 ha) of all lands, and 6<sup>th</sup>, 7<sup>th</sup>, 8<sup>th</sup> class lands constitute almost 50% (205,791 ha) (Figure 11). In addition, the 6<sup>th</sup> class lands, making up the largest part of the total of 420,575 ha land of Istanbul province, have 25.5% (107,141 ha) area. 7<sup>th</sup> class lands cover 21.2% (89,241 ha) area (Table 4).

It appears that 113,727 ha of the 534,302-ha area owned by Istanbul province with the extension of the municipal boundaries comprises of settlement areas, excluding the 420,575-ha area calculated based on the land use classes.

According to Table 3, there are 4,946.6 ha of irrigated agriculture and insufficient irrigation areas throughout the province. Approximately 68% of the irrigated agricultural areas are on the European Side, in Catalca and Silivri. On the Anatolian side, the most irrigated agricultural area is in Sile. 123,624.4 ha of dry farming area in the whole of Istanbul; 109,192 hectares are on the European Side (48% in Silivri, 39% in Catalca, 6% in Büyükçekmece), 14,432,4 hectares in the Anatolian Side (28% in Tuzla), 31% in Sile, 23% in Pendik). The main products obtained from agricultural areas are wheat (57%) and sunflower (24%). Approximately 57% of wheat cultivation areas are in Silivri and 34% in Catalca (IMM, 2017).

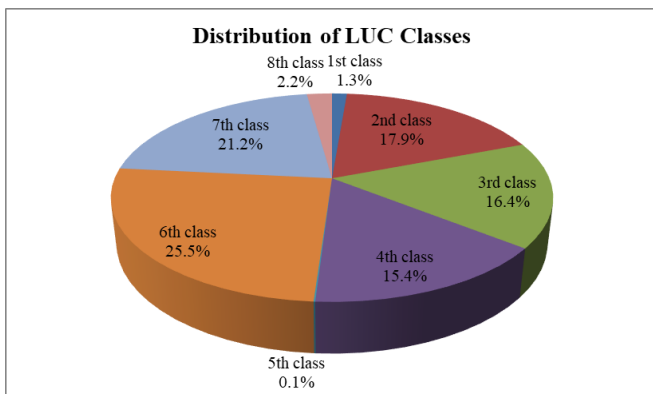


Figure 11. Proportional Distribution of LUC Classes in Istanbul Province (IMM, 2017)

Table 4. Distribution of Forms of Land Use According to Capability Classes in Istanbul Province (IMM, 2017)

Forms of Land Use	Land Use Capability Classes (ha)								Total (ha)
	1st Class	2nd Class	3rd Class	4th Class	5th Class	6th Class	7th Class	8th Class	
<b>Irrigated Farming</b>	482.3	2727.5	28.7						<b>3238.5</b>
<b>Dry Farming</b>	2982.5	45609.1	36622.8	24916	475.5	12082.7	935.8		<b>123624</b>
<b>Insufficient Irrigated Farming</b>	735.3	844.4	101.9				26.5		<b>1708.1</b>
<b>Cultivated Farming</b>	659.4	235.1	88.8	79.2		1097.6	45.5		<b>2205.6</b>
<b>Special Product</b>	78.6	1774	45.5	611.3					<b>2509.4</b>
<b>Meadow</b>		261.3	274.4		83.9				<b>619.6</b>
<b>Pasture</b>	38.2	635.1	1389.9	394.3		634.9	638.4		<b>3730.8</b>
<b>Heathland</b>	24.7	1187.8	2510.7	2534.4	18.9	3129.4	2004.2		<b>11410.1</b>
<b>Forest</b>	446.6	21948.5	27868.1	36068.6		90196.9	85590.9		<b>262120</b>
<b>Reeds - Marsh</b>								135.5	<b>135.5</b>
<b>Coastal Dune</b>								907.8	<b>907.8</b>
<b>Bare Rocky</b>								87.1	<b>87.1</b>
<b>Quarry and Mine</b>								8278.3	<b>8278.3</b>
<b>Total</b>	<b>5447.6</b>	<b>75222.8</b>	<b>68930.8</b>	<b>64603.8</b>	<b>578.3</b>	<b>107142</b>	<b>89241.3</b>	<b>9408.7</b>	<b>420575</b>

### 3.2. Product Values for Meeting Food Needs in Istanbul Province

In this study, an approximate calculation will be attempted to be made based on only the amount of vegetable and fruit production among the agricultural products feeding the metropolitan city. Calculations on the total amount of products can be evaluated in different studies. The land use data of TOB and IMM for 2018 and the production value obtained for the same year are proportioned over the population.

#### 3.2.1. Amount of Agricultural Products

In Istanbul, having a population of 15,067,724 people as of 2018, the amount of agricultural product per person consumed in 2018, based on the population and production amount, is 187 kg/year (Url-5).

In the city, having 78,531 tons of annual vegetable and fruit production within the provincial boundaries in 2018 according to TOB data, most of the vegetable and fruit needs are met from outside the city. In 2018, the total vegetable fruit amount coming to the Wholesale Market from inside and outside the city was 2,816,408 tons per year (IMM Directorate of Wholesale Markets, 2018). This indicates that approximately 3% of the amount of vegetable fruit products consumed in Istanbul is obtained by growing within its boundaries. Currently, 3% of the production is done within the provincial borders of Istanbul. However, the production rate will reach about 8% when the agricultural fields are planted in line with their capacity.

Considering the existing cultivated area of Istanbul in 2018, if the suitability for agriculture of the rural areas according to land use capability classes is also taken into account, the cultivation area potential can be increased approximately to 35.5% and agricultural production can be performed in these areas as well.

## 4. Conclusions and Recommendations

This study has been prepared to investigate the sustainability and evaluation of the agricultural potentials of the village and its surrounding rural areas, which gained the status of rural neighborhood after the Istanbul metropolitan municipality

borders were based on the provincial borders. The fact that these areas, which were taken within the boundaries of the municipality, can be opened to construction in the zoning plans, immediately increased the importance of their protection within the scope of rural planning.

It is observed that agricultural production continues in rural areas according to the characteristics of the land, regardless of villages or neighborhoods with changed status within the provincial boundaries of Istanbul. Although it is not possible to provide all the food needed in Istanbul within the city, the capacity can be increased by implementing plans and projects to satisfy a part of the need, support rural development at the local level. In order to preserve areas whose statuses have been changed by extending the boundaries of the metropolitan municipality to the provincial administrative boundaries, but which still have natural resources and agricultural potential, it is required primarily:

- To define the “rural area” “rural settlement” concepts accurately,
- To determine all actors from planning to implementation,
- To identify the inventory determining the potentials,
- To carry out planning studies from upper scale to lower scale according to the land size,
- To train and raise awareness of the producers,
- To determine the strategic production plan,
- To provide product evaluation and market opportunities,
- To give incentives and supports so as to provide added value,
- To meet the sociocultural needs of the rural population,
- To ensure integration of urban-rural settlements,
- To make urban plans protecting rural areas from urbanization pressure.
- Efforts including not neglecting the control of housing, environmental control and agricultural product control

will be able to make multilateral contributions to the sustainability of the rural areas and rural settlements within the metropolitan boundaries by maintaining their characters.

Every day, Istanbul's daily food needs are brought from kilometers away. According to TOB data in 2018, only vegetable and fruit production grown within the borders of Istanbul was 78,531 tons. In addition, according to IMM data, the total number of vegetables and fruits coming to Istanbul from abroad in 2018 is 2,816,408 tons. When the data produced and become available in Istanbul are considered together, it is seen that approximately 3% of the total vegetables and fruits for consumption are met within its own borders.

In 2018, approximately 75,760 hectares of land in Istanbul was reserved for current plant production, and 78,531 tons of yield was obtained from only vegetable and fruit production. In fact, it has a production capacity of 214.205 hectares in all of the lands that can be cultivated (I-IV class) according to the Istanbul AKK distribution. If production is made in line with this capacity, 222,039 tons of fruit and vegetables will be produced. If this production amount is provided, 8% of the total vegetables and fruits can be met within the provincial borders. In addition to 75,760 hectares of total cultivation area, if production is made on an area of 214.205 hectares, the plant production capacity will be 35.5%. Whether such a production is economically sufficient for rural settlements is a separate issue.

It is ensured that the products grown in and around the city are transported in more durable conditions with minimum transfer cost. In this way, the negative effects of vehicles coming from long distances can be reduced and efficiency can be achieved both naturally and economically. At the same time, as accident risks will decrease, positive results can be obtained in terms of occupational safety and health (OHS). Besides, the over-crowdedness in the city occurring due to migration movements from the rural areas will be prevented, and the economic self-sufficiency provided by the rural life to the city will contribute to national development. If each city's own potentials are evaluated, it will be possible to prevent overpopulation in cities, as employment opportunities can be provided to people living in rural areas. As a result of these, the economic efficiency provided by rural life to the city will contribute to national development.

## References

Aksu, G. A. (2014). Holistic Landscape Planning Approach, p. 21-34 Istanbul Commerce University, Journal of Science, 13 (26).

Cetiner, A. (1980). Rural Settlements and Physical Arrangement Principles. Istanbul Technical University Faculty of Architecture, 87, Gumussuyu.

Cloke, P.J., & Park, C.C. (1985). Rural Resource Management. Croom Helm, 473p, Sydney, Australia.

Dikmen, A.C. (2019). Strategic Environmental Assessment (SEA) Regulations Contribution to Turkey's Environment Policy. European Journal of Science and Technology, (15), 535-541.

DPT (2000). Eighth Five-Year Development Plan, Rural Development Specialization Commission Report, Ankara, 2000.

FAO (2019). Food Security and Nutrition Status in the World (Full Text). Taking Precautions Against Economic Slowdown and Recession, 30.

FAO (2021). World Food and Agriculture-Statistical Yearbook 2021. Rome. <https://doi.org/10.4060/cb4477en>.

GTHB, (2015). National Rural Development Strategy, 2014-2020. Date of Access: 10.01.2021. [https://kkp.tarim.gov.tr/UKKS%20\(2014-2020\).pdf](https://kkp.tarim.gov.tr/UKKS%20(2014-2020).pdf)

Halfacree, K.H. (1993). Locality and Social Representation: Space, Discourse, and Alternative Definitions of the Rural. Journal of Rural Studies, 9(1): 23-37. ISSN: 1305-7820, E-ISSN: 2587-165X.

Ilbery, B. (Ed.) (1998). The Geography of Rural Change. Addison Wesley Longman Limited. 267p, London.

IMM (1994). 1/50.000 scale Istanbul Metropolitan Area Sub-region Master Plan. Date of Access: 04.10.2021. <https://sehirplanlama.ibb.istanbul/arsiv/>

IMM (2009). Department of Reconstruction and Urban Planning, Directorate of City and Planning, 1 / 100.000 Scale Istanbul Environmental Plan Report, Third Part, Istanbul City Whole Research Findings.

IMM (2017). Directorate of Food, Agriculture and Livestock Headquarters, Neighborhood Research, Inventory Studies, Neighborhood Criteria and Neighborhood Management Model, Neighborhood Management Model Report, January 2017.

IMM Directorate of Wholesale Markets (2018). State Department Tonnage Monitoring Form.

Jamshed, A., Birkmann, J., Feldmeyer, D., & Rana, I.A. (2020). A Conceptual Framework to Understand the Dynamics of Rural-Urban Linkages for Rural Flood Vulnerability. Sustainability, 12, 2894. <https://doi.org/10.3390/su12072894>

Ministry of Development (2018). Eleventh Development Plan, Rural Development Specialization Commission Report. Ankara.

OG (1924). Village Law No. 442. Issue: 68.

OG (1937). Forest Law No. 3116. Issue: 3537.

OG (1956). Forest Law No. 6831. Issue: 9402.

OG (1984). 27.6.1984. Law No. 3030 on the Amendment of the Decree-Law on the Management of Metropolitan Municipalities. Number: 18453.

OG (1985a). 3.5.1985. Zoning Law No. 3194. Issue: 18749.

OG (1985b). 22.5.1985. Law No. 3202 on Services for the Village. Issue: 18761.

OG (1997). Regulation on Supporting the Development of Forest Villagers. Issue: 23066.

OG (1998). Pasture Law No. 4342. Issue: 23272.

OG (2004). 10.7.2004. Metropolitan Municipality Law No. 5216. Issue: 25531.

OG (2005a). 3.1.2005. Law No. 5286 on Abolition of the General Directorate of Rural Services and Making Amendments to Some Laws. Issue: 25710.

OG (2005b). 3.7.2005. Soil Conservation and Land Use Law No. 5403. Issue: 25880.

OG (2005c). 3.7.2005. Municipality Law No. 5393. Issue: 25874.

OG (2006). 18.4.2006. Agriculture Law No. 5488. Issue: 26149. Issue: 26148.

OG (2008). 6.3.2008. Law No. 5747 on Establishment of Districts within the Borders of the Metropolitan Municipality and Making Amendments to Some Laws. Issue: 26824.



- OG (2012). 12.11.2012. Law No. 6360 on the Establishment of Metropolitan Municipalities and Twenty-Seven Districts in Fourteen Provinces and Amending Certain Laws and Decree Laws. Issue: 28489.
- OG (2020). 16.10.2020. Law No. 7254 on the Amendment of Public Financial Management and Control Law and Some Laws. Issue: 31276.
- Suri, L. (1984). Transformation of Rural Soils to Urban Soils Istanbul and Kartal Example, Yıldız Technical University, Institute of Social Sciences, Master Thesis, 138, Istanbul.
- Suri, L., & Kansu, H. (1999). Historical Development of Local Governments, Legal and Administrative Regulations, Istanbul Case. City Management, Human and Environmental Problems Symposium 99, 2, 81-95. (Full Paper / Oral Presentation).
- Suri, L. (2004). Planning Demands and Applications in Drinking Water Basins. Istanbul and Water Symposium (Full Text Presentation / Oral Presentation).
- TOB (2012). Technical Instruction for Soil and Land Classification Standards.
- TOB (2019). Istanbul Governorship Provincial Directorate of Agriculture and Forestry, 2019 Briefing Report, Istanbul.
- Tuna, A. (2021). Examination of Green Infrastructure Concept in UK through Practice Examples. *European Journal of Science and Technology*, (21), 416-423.
- TURKSTAT, 2020a. The Results of Address Population Registration System, 2020.
- TURKSTAT, 2020b. The Results of Household Consumption Expenditure (Regional), 2019.
- TURKSTAT, 2021. Labor Statistics, 2020.
- United Nations (2019). World Urbanization Prospects. The 2018 Revision. Methodology, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. United Nations publication. Sales No. E19.XIII.7.
- Url-1 <https://population.un.org/wpp/DataQuery/> Date of Access: 08.11.2021.
- Url-2 <https://istanbulharitasi360.com/istanbul-ilce-haritasi> Date of Access: 26.09.2021.
- Url-3 <http://www.istanbul.gov.tr/asya-ve-avrupayi-birlestiren-sehir-istanbul> Date of Access: 12.05.2021.
- Url-4 <https://www.ibb.istanbul/SitePage/Index/82> Date of Access: 12.05.2021.
- Url-5 <https://www.nufusu.com/il/2017/istanbul-nufusu> Date of Access: 11.02.2021.
- Urgenc, S.I. (2000). Rural Landscape. Yıldız Technical University Press and Publishing Center, 234, Istanbul.
- Yilmaz, M. (2015). Changes of Rural Population in Turkey and its Distribution By Provinces (1980-2012). *Eastern Geographical Review*, 20(33), 161-188. DOI: 10.17295/dcd.71070.



# Huzurevinde Yaşayan 65 Yaş Üstü Yaşlılarda Ölüm Kaygısının İncelenmesi

Leman Kutlu<sup>1\*</sup>, Gülcan Kendirkıran<sup>2</sup>, Pınar Şeko<sup>3</sup>

<sup>1\*</sup> İstanbul Atlas Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Hemşirelik Bölümü, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-6393-8328), [bilgileman@gmail.com](mailto:bilgileman@gmail.com)

<sup>2</sup> Haliç Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Hemşirelik Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-3243-9590), [gulcank\\_87@hotmail.com](mailto:gulcank_87@hotmail.com)

<sup>3</sup> Haliç Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Hemşirelik Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-7302-7605), [pnrseko@gmail.com](mailto:pnrseko@gmail.com)

(İlk Geliş Tarihi 4 Temmuz 2021 ve Kabul Tarihi 3 Kasım 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.962359)

**ATIF/REFERENCE:** Kutlu, L., Kendirkıran, G., Şeko, P. (2021). Huzurevinde Yaşayan 65 Yaş Üstü Yaşlılarda Ölüm Kaygısının İncelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (27), 1032-1037.

## Öz

Bu araştırma bir huzurevinde kalan 65 yaş üstündeki yaşlıların ölüm kaygısını ve ilişkili faktörleri incelemek amacıyla yapıldı. Kesitsel ve tanımlayıcı tasarımda olan bu çalışma Türkiyede'ki bir devlet huzurevinde kalan 65 yaşın üstündeki 108 gönüllü yaşlı sakin ile gerçekleştirildi. Araştırmanın verileri Şubat- Mart 2020 tarihleri arasında sosyodemografik özellikleri sorgulayan Kişisel bilgi formu ve ölüm kaygısını ölçen Templer Ölüm Kaygısı Ölçeği ile yüz yüze görüşme yöntemiyle toplandı. Verilerin istatistiksel analizinde tanımlayıcı istatistiksel analizler, bağımsız t testi, ANOVA, pearson korelasyon analizi, basit doğrusal regresyon analizi kullanıldı. Çalışmadaki yaşlılar 65 ile 95 yaşları arasında, ortalama  $72,31 \pm 7,97$  yaşında, çoğunlukla erkek, parçalanmış aile yapısına sahip, ilkokul mezunu, geliri giderinden az, çocuğu yok ve çocuğu olanların çoğunlukla bir çocuğu olduğu saptandı. Kadınların ölüm kaygısı puanlarının erkeklerin puanlarından istatistiksel olarak anlamlı derecede yüksek olduğu ( $7,23 \pm 3,34$ ;  $p < 0,005$ ) ve yaşlıların cinsiyetinin kadın olmasının ölüm kaygısı puanını 2,084 birim ( $\beta = 2,084$ ,  $t = 2,953$ ,  $p = 0,004$ ) artırdığı saptandı. Diğer sosyodemografik özelliklerin ise ölüm kaygısı puanlarını anlamlı düzeyde etkilemediği saptandı ( $p > 0,05$ ).

**Anahtar Kelimeler:** Ölüm kaygısı, Yaşlı, Huzurevi

## Investigation of Death Anxiety in Elderly People Over 65 and Living in Elderly Nursing Home

### Abstract

This study was conducted to examine the death anxiety and related factors of elderly residents over 65 years of age living in a elderly nursing home. This cross-sectional and descriptive study was conducted with 108 volunteer elderly residents over the age of 65 living in a government elderly nursing home in Turkey. The data of the study were collected by face-to-face interview method between February and March 2020, using a personal information form questioning sociodemographic characteristics and the Templer Death Anxiety Scale, which measures death anxiety. Descriptive statistics, independent-samples t test, ANOVA, pearson correlation analysis, simple linear regression analyses were used to analyze the data. It was determined that the elderly people in the study were between 65 and 95, average  $72.31 \pm 7.97$  years old most of them were male, divorced/widowed, had a broken family structure, primary school graduate, income less than expenditure, had no children, and most of those who had children had a child. It was determined that women's death anxiety scores were statistically significantly higher than men's scores ( $7.23 \pm 3.34$ ;  $p < 0.005$ ) and that the gender of the elderly was female, increasing the death anxiety score by 2.084 units ( $\beta = 2.084$ ,  $t = 2.953$ ,  $p = 0.004$ ). It was determined that other sociodemographic characteristics did not have a significant effect on death anxiety.

**Keywords:** Death anxiety, Elderly, Elderly nursing home

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

## 1. Giriş

İnsan yaşamında son gelişim aşaması olan yaşlılık dönemi, 65 yaş ve üzerindeki bireyler için kullanılan bir yaşam evresidir. Yaşlılık, 65 yaş ve üzerindeki bireylerde, çökmenin ve gerilemenin başladığı, yaşam sürecinin doğal ve zorunlu bir aşaması ve son safhasıdır (Aksoydan, 2008, Kaçan Softa vd., 2011). Türkiye İstatistik Kurumu, yaşlı nüfusun son beş yıl içerisinde % 16 arttığını belirtmiş, yaşlı nüfus yaş grubuna göre incelendiğinde 2018 yılında % 62,2'si 64-74 yaş grubunda, % 28,6'sı 75-84 yaş grubunda ve % 9,2'si 85 yaş ve üstü yaş grubunda yer aldığı görülmüştür (Türkiye İstatistik Kurumu: İstatistiklerle Yaşlılar, 2018). Yaşlılık; fiziksel ve psikolojik kayıpların olduğu, sosyal ilişkilerin azaldığı, yaşam döngülerinin son döneminde bulunmaları nedeniyle ölüme daha yakın hissedildiği ve ölüm kaygısının yoğun olduğu, ölümün kaçınılmazlığı ve kalan zamanının sınırlı olduğu gerçeğiyle yüzleşilen bir dönemdir (Erdoğan ve Özkan, 2007; Aksoydan, 2008; Softa ve ark., 2011).

Ölüme yönelik yapılan düşünce ve sorgulama süreçleri yaşamı anlamlandırma çabası nedeni ile olduğu için geçmişten günümüze kadar ölüm üzerinde bütün bireyler çok düşünmekte ve bu konuda çalışmalar da yapılmaktadır (Kaçan Softa vd., 2011). Yaş faktörünün ölüm korkusunu etkileme durumu konusunda ortak bir fikir olmamakla birlikte (Öztürk vd., 2011), bireyin yaşam amacı ne kadar fazlaysa ölüm korkusunun da o kadar az olduğu belirtilmektedir (Zana et al., 2020). Ayrıca yaşlı bireyin sosyal desteğinin az olmasının da ölüm oranında artışa neden olduğu belirtilmektedir (Yerli, 2017). Yaşlı bireyde ölüme yönelik korku ve kaygı durumu kişi ölüm sürecini ve ölümden sonraki süreci düşündüğünde artış gösterebilmektedir (Mohammadpour et al., 2018).

Türkiye'de huzurevindeki yaşlılarla yapılan çalışmalar incelendiğinde; benzer çalışmaların olduğu, ölüm kaygısının bazı değişkenler açısından incelendiği, bu değişkenlerden elde edilen sonuçların yeterli sayıda olmadığı ve ölüm kaygısını etkileyen başka değişkenler açısından da desteklenmesi gerektiği görülmektedir. Bu gerekçe ve literatür bilgisi doğrultusunda bu araştırmanın amacı, huzurevinde yaşayan 65 yaş üstü yaşlıların ölüm kaygısını incelemektir. Araştırmadan elde edilen sonuçların literatüre katkı sağlayacağı ve huzurevinde çalışan sağlık profesyonellerine; ölüm korkusu olan yaşlıların, ölüm korkusu ile başa çıkmasında ve ölüm korkusu düzeyini en aza indirmede yaklaşımlar geliştirmesinde ve hemşirelik bakım sürecini planlamasında dikkatini çekeceği ve farkındalığını artıracığı düşünülmektedir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Evren ve Örneklem

Örneklem belirlenmesinde evreni belli örneklem belirleme formülü ( $Nt^2 pq / d^2 (N-1) + t^2 pq$ ) kullanıldı ( $N =$  Evrendeki birey sayısı,  $n =$  Örneklem alınacak birey sayısı,  $p =$  incelenen olayın görülme sıklığı  $= 0,5$ ,  $q =$  incelenen olayın görülme sıklığı  $(1-p) = 0,5$ ,  $t =$  Belirli serbestlik derecesinde ve saptanan yanılma düzeyinde bulunan  $t$  tablosundaki teorik değer  $= 1.96$ ,  $d =$  Olayın görülme sıklığına göre yapılmak istenen yanılma  $= 0,05$ ). Bu formüle göre en az örneklem sayısı 177,18 olarak belirlendi. Ancak çalışmaya katılmak istemeyen sakinlerin olması nedeniyle bu sayı ( $n = 108$ ) evrenin % 33'ünü temsil etti.

Örneklem seçiminde dahil olma kriterleri olarak; 65 yaş üstü olması, en az bir yıl huzurevinde kalması, çalışmaya katılmayı kabul etmesi, işitme, görme probleminin olmaması ve huzur evi tarafından yapılan mental testi geçmiş olması kriterleri arandı.

### 2.2. Veri Toplama Araçları

Araştırma verileri Şubat-Mart 2020 tarihleri arasında "Kişisel Bilgi Formu" ve Templer ve arkadaşları (1970) tarafından geliştirilen "15 maddelik Templer Ölüm Kaygısı Ölçeği (Templer ÖKÖ)" kullanılarak toplandı.

**Kişisel Bilgi Formu;** araştırmacılar tarafından geliştirilmiş olup yaşlıların sosyodemografik özelliklerini sorgulayan altı soru (yaş, cinsiyet, çocuk sahibi olma durumu, çocuk sayısı, aile yapısı, gelir durumu), huzur evindeki süreci sorgulayan üç soru (bakımevinde kalma süresi, ziyaretçisi olma durumu, ziyarete gelen kişiler) ve yaşlıların sağlık durumunu sorgulayan dört soru (kronik hastalık durumu, hastalığın tanısı, daha önce hastaneye yatma durumu, hastaneye yatma nedeni) olmak üzere toplam 13 sorudan oluşmaktadır (Öztürk vd., 2011; Yerli, 2017; Azaiza et al., 2010; Dadfar et al. 2017).

**Templer Ölüm Kaygısı Ölçeği;** ölçek Templer ve arkadaşları tarafından 1970 yılında geliştirilmiş olup Türkçe geçerlik güvenilirlik çalışması 2008 yılında Figen Akça tarafından yapılmıştır. Bireyin ölüm kaygısını ölçen 15 maddelik doğru yanlış şeklinde cevaplanan bir ölçektir. Puanlama yaparken 1., 4. ve 8-14 maddeleri doğru diğerlerini yanlış olarak düşünerek puan verilmesi gerekmektedir. Alınan her puan 1 olarak kodlanmaktadır. Doğru cevaplara 1 puan verilir, yanlış cevaplar 0 olarak puanlanır. Ölçeğin ilk 9 maddesi düz kodlanmış diğer maddeleri ise ters kodlanmış ifadeleri içermektedir. Ölçeğin puan aralığı 0-15'tir. Ölçekten en düşük 0 puan, en çok 15 puan alınabilmektedir. 7 puan ve üstünün ölüm kaygısı yüksek, altının ise ölüm kaygısı düşük şeklinde yorumlanmaktadır. Ölçeğin Cronbach alfa sayısı 0.79 olarak belirtilmiştir (Akça ve Köse, 2008; Akça ve ark., 2011). Bu çalışmada ölçeğin Richard Kuderson 20 kat sayısı hesaplanmış ve 0, 97 bulunmuştur. Ölçek bu çalışma için oldukça güvenilir bir ölçektir.

Çalışmanın evrenini 1 Şubat 2020-1 Mart 2020 tarihleri arasında bir devlet huzur evinde yaşayan 328 sakin, örneklemini ise çalışmaya dahil olma kriterlerine uygun 108 sakin oluşturdu.

### 2.3. Verilerin Değerlendirilmesi

Verilerin istatistiksel analizi IBM SPSS-22 programında yapıldı. Ölçeğin normal dağılım analizinde Shapiro Wilk, skewness, histogram, varyans homojenite testleri, yaşlıların sosyodemografik, sağlık ve huzur evindeki yaşam özelliklerinin analizinde; tanımlayıcı istatistiksel analizlerden ferkans, yüzde, ortalama ve standart sapma, karşılaştırmalarda ikili grupta bağımsız t testi, üç ve üstü gruplarda ANOVA, ilişkilerde; pearson korelasyon analizi, ve neden sonuç ilişkisini belirlemede de basit doğrusal regresyon analizi kullanıldı

### 2.4. Etik İzinler

Araştırmanın uygulanabilmesi için Haliç Üniversitesi Girişimsel Olmayan Klinik Araştırmalar Etik Kurulu'ndan etik onay (Protokol No:03/Karar No: 07/31.01.2020), Darülaceze idaresinden kurumsal izin, ölçeğin kullanılması için ölçek yazarlarından kullanım izni ve çalışmaya başlamadan önce de tüm katılımcılardan gönüllü bilgilendirme formu ile yazılı izin alınmıştır.

### 3. Bulgular

Çalışmadaki yaşlıların sosyodemografik özelliklerinin dağılımında (Tablo 1); yaşlıların 65 ile 95 yaş arasında, ortalama 72,31±7,97 yaşında, çoğunun erkek, boşanmış/dul olduğu, parçalanmış aile yapısına sahip, ilkokul mezunu, gelirinin kötü olduğu, çocuğu olmadığı ve çocuğu olanların çoğunun bir çocuğu sahip olduğu saptandı.

Sosyo demografik özelliklere göre Templer ÖKÖ puan ortalamalarının yaş, aile yapısı, çocuk sahibi olma durumu, çocuk sayısı, öğrenim durumu ve gelir durumuna göre istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar göstermediği belirlendi ( $p>0,05$ ).

**Tablo 1.** Yaşlıların Sosyodemografik Özelliklerine Göre Templer ÖKÖ Puanlarının Karşılaştırması (N=108)

Sosyodemografik Özellikler	Ort±SS	Templer ÖKÖ			
		r	p		
Yaş	72,31±7,97	0,014	0,885		
Templer's DAS					
Sosyodemografik Özellikler	N	%	Mean± SD	t/F	p
<b>Cinsiyet</b>					
Kadın	26	24,1	7,23±3,34	2,953	<b>,004</b>
Erkek	82	75,9	5,15±3,07		
<b>Eğitim</b>					
Okur Yazar	19	17,6	6,00±3,77		
İlkokul	49	45,4	5,29±3,45	1,040	,378
Ortaokul	20	18,5	5,20±2,51		
Lise	20	18,5	6,65±2,82		
<b>Aile yapısı</b>					
Çekirdek Aile	32	29,6	6,38±3,47	1,214	,301
Geniş Aile	8	7,4	5,75±3,41		
Parçalanmış Aile	68	63	5,29±3,11		
<b>Çocuk sahibi olma durumu</b>					
Evet	36	33,3	5,83±3,07	0,417	,677
Hayır	72	66,7	5,56±3,35		
<b>Çocuk sayısı (N=36)</b>					
Bir	13	36,1	6,54±2,67	0,590	,560
İki	10	27,8	5,70±3,92		
Üç ve üstü	10	27,8	5,23±2,80		
<b>Gelir Durumu</b>					
Kötü	72	66,7	5,85±3,463	0,435	,649
Orta	31	27,7	5,19±2,574		
İyi	5	4,6	5,60±4,159		

Çalışmadaki yaşlıların huzurevindeki sürecine yönelik özelliklerinin dağılımında (Tablo 2); yaşlıların çoğunun kendi isteği ile yaşlı bakım evine geldiği, huzurevinde kalma süresinin 1 ile 38 yıl arasında değiştiği, ziyaretçisi olduğu (%72,2), ziyarete gelen akrabalarının ziyaretçi olarak ilk sırada (n:30) yer aldığı belirlendi.

Huzurevindeki sürecine yönelik özelliklere göre Templer ÖKÖ puan ortalamalarının; huzurevinde kalma süresi, ziyaretçisi olma durumu ve ziyarete gelen kişilere göre istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar göstermediği saptandı ( $p>0,05$ ).

**Tablo 2.** Huzurevindeki Sürece Yönelik Özelliklere Göre Templer ÖKÖ Puanlarının Karşılaştırması (N=108)

Huzurevindeki Sürece Yönelik Özellikler	Ort±SS	Templer ÖKÖ			
		R	p		
Huzurevinde kalma süresi	5,73±6,75				
	Min:1 Mak:38				
	n	%	Mean± SD	t/F	p
<b>Ziyaretçisi olma durumu</b>					
Var	78	72,2	5,72±3,195	0,359	,721
Yok	30	27,8	5,47±3,43		
<b>Ziyarete gelen kişiler*</b>					
Akrabaları					
Gelen	30	27,8	5,90±2,92	-0,498	,619
Gelmeyen	178	72,2	5,55±3,38		
Çocukları					
Gelen	14	13,0	6,36±3,65	-0,875	,384
Gelmeyen	94	87,0	5,54±3,19		
Arkadaşlar					
Gelen	24	22,2	5,50±2,78	0,252	,801
Gelmeyen	84	77,8	5,69±3,38		
Kardeşler					
Gelen	26	24,0	5,58±3,28	0,128	,899
Gelmeyen	84	76,0	5,67±3,26		

\*Birden fazla işaretlenmiştir.

Çalışmadaki yaşlıların sağlık özelliklerinin dağılımında (Tablo 3); yaşlıların çoğunun, kronik hastalığının olduğu, kalp yetersizliği ve hipertansiyonun ilk sırada yer aldığı, daha önce hastaneye yattığı, hastaneye yatış nedeninin ameliyat ve tedavi olduğu saptandı.

Yaşlıların sağlık özelliklerine göre Templer ÖKÖ puan ortalamalarının kronik hastalığa sahip olma durumuna, hastalığın tanısına, daha önce hastaneye yatma durumuna ve hastaneye yatma nedenine göre istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar göstermediği saptandı ( $p>0,05$ ).

Çalışmadaki yaşlıların Templer ÖKÖ puanlarının 0 ile 14 arasında değiştiği ve puan ortalamasının kesme puanından ( $5,5±3,25<7$ ) düşük olduğu saptandı. Kadınların puan ortalamalarının erkeklerin puan ortalamalarından daha yüksek, kesme puanının üstünde ( $7,23±3,34>7$ ) ve ölüm kaygısının olduğu saptandı. Erkeklerin puan ortalamalarının ise kesme puanın altında ( $5,15±3,07<7$ ) ve ölüm kaygısının düşük olduğu belirlendi ( $p<0,05$ ).

Kesme puana göre yapılan sınıflamada 27 (%25) yaşlının ölüm kaygısı yaşadığı belirlendi. Ölüm kaygısı yaşayan bu yaşlıların %66,7 erkek (n=18) ve puan ortalaması 9,83±1,823 'dür. Kadınların oranı ise % 33,3 (n=9) olup puan ortalaması 11,33±1,414 'dür.

Yaşlıların cinsiyet bağımsız değişkeninin Templer ÖKÖ puanlarına etkisini değerlendirmek amacıyla yapılan basit doğrusal regresyon analizi bulguları Tablo 4' verildi:

Templer ÖKÖ puanını 2.084 birim ( $\beta=2,084$ ,  $t=2,953$ ,  $p=0,0007$ ) artırmaktadır.

**Tablo 4:** Templer Cinsiyetin Templer ÖKÖ ile Basit Regresyon Analizi

Model	B	SE	$\beta$	T	P
Costant	5,146	0,346		14,857	,000
Cinsiyet-kadın	2,084	0,706	0,276	2,953	,004
<b>R=0,276 R<sup>2</sup>=0,076 F=8,718 p=0,004</b>					
<b>Durbin-Watson= 2,312</b>					
<b>VIF: 0,276</b>					

Bağımlı değişken: Templer ÖKÖ

Bağımsız Değişken: Cinsiyet (Erkek:0, kadın:1)

### 3. Tartışma

Ölüm kaygısı doğal ve normal bir deneyimdir ve yaşam boyunca küçük bir düzeyde ölüm kaygısına sahip olmak bizi olumlu faaliyetlerde bulunmaya teşvik ederken anormal derecede yüksek bir ölüm kaygısı uyumsuzluğa ve korkuya yol açabilmektedir (Mohammadpour et al., 2018). Bazı yaşlı bireyler ölümden ve yaşlılıktan korkarken bazıları da yaşlılığın hayatın sonu olmadığını, bireylere ve topluma tecrübeleri ile katkı sağlayabilecek potansiyelde olduklarını düşünmektedirler (Shaw and Langman, 2017). Bir yandan, ölümün varlığı bir çok insan için doğal olsa da, birçok insan için de korkutucu ve kaygı vericidir (Wysokiński et al., 2019). Yaş ilerledikçe ölüm kaygısının arttığı (Sayın Kasar ve ark., 2016), erkeklerin ve kadınların ölümlerle ilgili olarak ölümlerden çekilen ızdırabın kendilerini korkuttuğu (Arpacı ve ark., 2011), yaşlı bireylerin kendi evlerinde ya da bir kurumda yaşamlarının da ölüm kaygısını etkileyebileceği belirtilmektedir. (Softa, 2015; Taycan, 2014). Litaretür ve bu araştırmanın amacı doğrultusunda huzurevinde yaşayan 65 yaş üstü yaşlıların ölüm kaygısı sosyodemografik özellikler, sağlık özellikleri ve huzurevindeki yaşam süreci özellikleri açısından değerlendirilmiştir.

Literatürde yaşlı bireylerin ölüm kaygılarının sosyodemografik özelliklere göre karşılaştırılmasında farklı sonuçların saptandığı ve bu sonuçlarda yaşam koşulları, çevresel faktörler ve bireysel farklılıkların etkili olduğu belirtilmektedir (Arpacı ve ark., 2011; Öztürk ve ark.,2011; Softa ve ark., 2011; Top ve ark., 2010)

Yaşla birlikte ölüm kaygısının arttığını, azaldığını, belli bir yaşa kadar artıp daha sonra azaldığını ve bir süre sonra belli bir düzeyde sabit seyrettiğini, yaşam öyküsü, sağlık durumu, sosyoekonomik durum ve yaşlanma sürecine uyumun da sonuçları etkilediğini belirten çalışmalar bulunmaktadır (Tang ve ark., 2002; Hayslip ve Hansson, 2003; Kastenbaum, 2007; Sinoff, 2017; Mohammadpour et al.,2018). Gümüş Demir'in (2020) yaptığı çalışmada ise anlamlı fark saptanmamıştır.

Ölüm kaygısının cinsiyete göre anlamlı farklılıklar göstermediğini belirten çalışmalar olmasına rağmen (Erdoğan ve Özkan, 2007; Neimeyer ve ark., 2004; Top ve ark., 2010; Gümüş Demir, 2020) bazı çalışmalarda anlamlı farklılıkların olduğu; kadınların yaşlılığa bağlı olarak ortaya çıkan durumlara yönelik daha olumsuz algıya sahip olduğu, durumları üzerinde daha az kontrol hissettiklerini ve yaşlılık döneminde bağımlılıkları konusunda daha fazla endişelendikleri, kadınların daha duygusal bir yapıya sahip olmalarından ve duygularını daha rahat ifade edebilmelerinden kaynaklanabileceği belirtilmiştir (Madnawat ve Kachhawa, 2007; Karakuş ve ark., 2012; Mohammadpour et al., 2018).

Bu çalışmada kadınların ölüm kaygısı puanları erkeklerden anlamlı düzeyde yüksek saptandı (7,23±3,34: p<0.005). Katılımcıların %25'inin ölüm kaygısı yaşadığı belirlendi. Ölüm kaygısı yaşayan yaşlıların (n=25) çoğunluğu erkek (%66,7, n=18) ve puan ortalaması 9,83±1,823 'dür. Kadınların (%33,3, n=9) puan ortalaması ise 11,33±1,414 'dür. Çalışmada erkeklerin sayısı kadınlardan daha fazla olup huzurevlerinde yapılan diğer çalışmalarla da benzerlik göstermektedir (Birtane ve ark. 2000; Konak ve Çiğdem 2005).

Cinsiyet bağımsız değişkeninin ölüm kaygısı puanlarıyla yapılan analizi sonucunda anlamlı bir regresyon modeli olduğu (F=8,718, p=0,004<0,05) ve bağımlı değişkendeki varyansın %7,6'sının (R<sup>2</sup>=0,076) cinsiyet bağımsız değişkeni tarafından açıklandığı saptandı. Buna göre, cinsiyet bağımsız değişkeni ölüm kaygısı bağımlı değişkenini olumlu ve anlamlı olarak etkilemekte olup yaşlıların cinsiyetinin kadın olması ölüm kaygısı puanını 2,084 birim artırmaktadır.

Eğitim düzeyi yükseldikçe ölüm kaygısının azaldığını bildiren çalışmalar olmasına rağmen (Tang ve ark., 2002; Turgay, 2003) bazı çalışmalarda eğitim düzeyi ve ölüm kaygısı arasında anlamlı bir ilişki olmadığı belirtilmiştir (Top ve ark., 2010).

Çocuk sahibi olmanın ve çocuk sayısının ölüm kaygısını etkilemediğini belirten çalışmalar olmasına rağmen (Özen, 2008; Gümüş Demir, 2020) bazı çalışmalarda anlamlı ilişki olduğu ve etkilediği belirtilmiştir (Erdoğan ve Özkan, 2007; Öztürk ve ark., 2010).

Bu çalışmada, sosyodemografik özelliklere göre ölüm kaygısı puan ortalamalarının yaş, medeni durum, aile yapısı, çocuk sahibi olma durumu, çocuk sayısı, öğrenim durumu ve gelir durumuna göre anlamlı farklılıklar göstermediği belirlendi (p>0,05).

Yaşamın anlamının ve amaçlarının daha iyi anlaşılmasının, ölüm veya ölüme yakınlıkla ilgili kaygı ve olumsuz duyguları azaltabileceği veya ortadan kaldırmaya yardımcı olacaktır (Zhang et al., 2019). Bazı çalışmalarda huzurevinde yaşayan yaşlılarda ölüm korkusunun huzurevinde yaşamayan yaşlılara oranla anlamlı derecede yüksek olduğu belirtilmiştir (Madnawat ve Kachhawa, 2007; Neimeyer, 2004; Azaiza et al.,2010).Bazı çalışmalarda ise evde yaşayan yaşlı bireylerin ölüm kaygısı düzeyi huzurevinde yaşayan yaşlı bireylerden anlamlı düzeyde yüksek olduğu saptanmıştır (Arpacı ve ark., 2011; Kalkan ve Özdel, 2005; Gümüş Demir, 2020).

Bazı çalışmalarda yaşlı bireylerin kurumda kalma süreleri ile ölüm kaygısı arasında anlamlı bir ilişki olduğu (Tang ve ark., 2002) bazı çalışmalarda ise anlamlı düzeyde ilişki olmadığı belirtilmiştir (Köstek, 2015).Bu çalışmada yaşlı bireylerin ölüm kaygısı puanlarının düşük olduğu ve huzurevinde kalma süreleri ile ölüm kaygısı arasında anlamlı düzeyde ilişkisi olmadığı saptanmadı (p>0.05).

Bazı çalışmalarda medeni durumu evli olan yaşlı bireylerde ölüm kaygısının daha yüksek olduğu, eş ve çocuklara karşı sorumlulukların ve onları geride bırakma düşüncesinin bu duruma neden olduğu belirtilmektedir (Erdoğan ve Özkan, 2007; Karakuş, 2012; Turgay, 2003). Bazı çalışmalarda ise medeni durumla arasında anlamlı bir fark olmadığı saptanmıştır (Öztürk ve ark., 2010; Top ve ark., 2010; Köstek, 2015; Softa ve ark.,2015; Gümüş Demir, 2020). Bu çalışmadaki yaşlı bireylerin çoğunun parçalanmış aile yapısına sahip olduğu, aile yapısına göre ölüm

kaygısı puanları arasında anlamlı farklılık olmadığı ve aile üyelerinden çok akrabalarının ziyarete geldiği saptandı ( $p>0,05$ ).

Sosyal destekle ölüm kaygısı arasındaki ilişkiyi inceleyen bazı çalışmalarda sosyal destek artıçça ölüm korkusunun azaldığı belirtilmiştir (Yerli, 2017; Azaiza et al.,2010; Ron, 2004). Softa ve arkadaşlarının (2015) yaptığı bir çalışmada da medeni durum, çocuk sayısı, ziyaretçi gelme durumu, birlikte yaşanan kişi sayısı, yalnızlık durumu ile arasında anlamlı bir ilişki olmadığı saptanmıştır. Bu çalışmada da ziyaretçisi olan yaşlıların ölüm kaygısı puanlarının daha yüksek olmasına rağmen anlamlı düzeyde olmadığı saptandı ( $p>0,05$ ).

Yaşlanma ile günlük yaşam aktivitelerini yerine getirmede fiziksel yetersizlikler yaşanması, bilişsel becerilerin azalması ve kronik hastalıkların gelişmesi, yaşlıların ölüme bakış açılarını etkilemektedir (Ersanlı, 2008; Top ve ark., 2010; Yelboğa, 2017).

Bazı çalışmalarda yaşlı bireylerde ölüm kaygısı ile sağlık durumu arasında anlamlı fark olduğu; kronik hastalığının olması ve ciddi bir hastalığa yakalanmaktan korkma durumlarının ölüm korkusu ve ölüm anksiyetesini artırdığı, bazı çalışmalarda ise (Sayın Kasar ve ark.,2016; Saini et al., 2016; Kasar ve ark., 2016; Dadfar et al., 2017; Karahan ve Hamarta, 2019;), aralarında anlamlı fark olmadığı belirtilmiştir (Özen, 2008; Öztürk ve ark., 2011; Softa ve ark., 2011; Top ve ark., 2010 Köstek, 2015). Wysokiński et al. (2019) tarafından yapılan çalışmada da kronik hastalığı olan katılımcıların, ölümün kaçınılmazlığının ve yaşamlarının son aşaması olduğunun daha fazla farkında oldukları için ölümü gereklilik olarak gördükleri belirtilmiştir. Ayrıca yaşlı bireylerin sağlık ile ilgili yaşadıkları olumsuzlar nedeni ile sürekli olarak ölüm korkusu yaşadıkları ve duaya, dinsel konulara yöneldikleri belirtilmektedir (Saini et al., 2016; Taghiabadi et al., 2017).

Karaca (2010) tarafından yapılan çalışmada da yaşlıları en mutlu eden şeyin ne olduğu sorulduğunda sağlıklı olmak ve yaşamak cevabının yüksek oranda olduğu belirtilmiştir. Bu çalışmada da yaşlıların sağlık özelliklerine göre ölüm kaygısı puan ortalamalarının kronik hastalığa sahip olma durumu ve daha önce hastaneye yatma durumuna göre anlamlı farklılıklar göstermediği saptandı ( $p>0,05$ ).

Karaca (2010) tarafından yapılan çalışmada huzurevinde kalan yaşlı bireylerin %40'ının çocukları ile hiçbir zaman görüşmediği ve %54,3'ünün birlikte yaşayacağı akrabası olmadığı ifade edilmiştir. Üstüner Top ve ark. (2010) tarafından yapılan çalışmada, yaşlı bireylerin huzurevinde kalma süreleri arttıkça ölüm kaygılarının arttığı belirtilmiştir. Softa ve arkadaşlarının (2015) yaptığı bir çalışmada ise ziyaretçi gelme durumu ile anlamlı bir ilişki olmadığı saptanmıştır. Bu çalışmada da huzurevindeki yaşam sürecine yönelik özelliklere göre ölüm kaygısı puan ortalamalarının; huzurevinde kalma süresi, ziyaretçisi olma durumu ve ziyarete gelen kişilere göre istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar göstermediği saptandı ( $p>0,05$ ).

Literatürde sosyodemografik özelliklerle ölüm kaygısı arasındaki ilişkilere ait sonuçların farklılık göstermesinin ölüm kaygısının çok boyutlu yapısından kaynaklanabileceği belirtilmektedir (Yelboğa, 2017, Gümüş Demir, 2020).

## 4. Sonuç ve Öneriler

Çalışmada kadınların ölüm kaygısı puanları erkeklerden istatistiksel olarak anlamlı derecede yüksek bulunmuştur ( $7,23\pm 3,34$ ;  $p<0,005$ ). Yaşlıların cinsiyetinin kadın olması ölüm kaygısı puanını 2,084 birim ( $\beta=2,084$ ,  $t=2,953$ ,  $p=0,004$ ) artırmaktadır. Yaş, medeni durum, aile yapısı, çocuk sahibi olma durumu, çocuk sayısı, öğrenim durumu ve gelir durumu, bakım evinde kalma süresi, ziyaretçisi olma durumu ve gelen ziyaretçiler, kronik hastalık durumu, hastalığın tanısı, daha önce hastaneye yatma durumu ve hastaneye yatma nedeninin ölüm kaygısı puanını anlamlı düzeyde etkilemediği saptandı ( $p>0,05$ ). Huzurevinde çalışan sağlık profesyonelleri; ölüm kaygısına yönelik çalışmaları periyodik olarak yapmalı, ölüm kaygısı yüksek olan bireylere yönelik başa çıkma yöntemleri konusunda destek vermeli, sosyal aktivitelere katılımını sağlamalı ve sosyal destek sistemleri ile bağlantı kurmasında yardımcı olmalıdırlar. Özellikle 24 saat birlikte olan hemşireler yaşama umudunun canlı tutulmasında önemli görevleri olduğunun bilincinde olarak yaşlıya özgü bakım sürecini planlanırken ölüm kaygısının pek çok psikolojik ve fiziksel sorunun tetikleyicisi olacağına farkında olmalıdırlar.

Bu çalışmada ölüm kaygısını etkileyen değişkenlerden bazıları ile farklılıklar değerlendirilmiştir. Bu nedenle özellikle yaşlı bireyin huzurevindeki aktiviteleri ile huzurevinden memnuniyetine yönelik değişkenlerle de farklılıkların incelenmesi ölüm kaygısının daha iyi açıklanmasına katkıda bulunacağı düşünülmektedir.

## 6. Teşekkür

Darülaceze sakinlerine çalışmaya gösterdikleri ilgi ve katılımları için ve Darülaceze sakinleri ile buluşmamızda yardımcı oldukları için de tüm sağlık çalışanlarına teşekkür ediyoruz.

## Kaynakça

- Akça, F., Köse, İ. A. (2008). Ölüm Kaygısı Ölçeğinin Uyarlanması: Geçerlik ve Güvenirlilik Çalışması. *Klinik Psikiyatri*, 11(1): 7-16.
- Aksoydan, E. (2008). Yaşlılık ve Beslenme, *Sağlık Bakanlığı Yayınları Yayın No:726, Şubat 2008,s:7*.
- Arpacı, F., Avdaş, E., Doğruöz, Ö., Sarıdoğan, T. (2011). Yaşlılarda ölüm kaygısının incelenmesi. *Yaşlı Sorunları Araştırma Dergisi*, 2:53-66.
- Azaiza F., Ron P., Shoham, M Gigini I. (2010) Death and dying anxiety among elderly Arab Muslims in Israel, *Death Studies*, 34: 351-364, DOI: 10.1080/07481181003613941
- Birtane, M., Tuna H., Ekuklu G., Uzunca K., Akçi C. & Kokino S. (2000). Edirne huzurevi sakinlerinde yaşam kalitesine etki eden etmenlerin irdelenmesi. *Geriatry*, (3)141-145.
- Curl, A., Fitt, H., Tomintz, M. (2020). Experiences of the built environment, falls and fear of falling outdoors among older adults: An exploratory study and future directions, *International Journal of Environmental Research and Public Health (e-journal)*, 17(4): DOI:10.3390/ijerph17041224
- Dadfar, M., Abdel-Khalek, A. M., Lester, D., Atef Vahid, M. K. (2017). The Psychometric Parameters of the Farsi Form of the Arabic Scale of Death Anxiety. *Journal of Aging Research (e-journal)*, 7468217: DOI: 10.1155/2017/7468217

- Erdoğdu, M. Y. & Özkan, M. (2007). Farklı dini inanışlardaki bireylerin ölüm kaygıları ile ruhsal belirtiler ve sosyodemografik değişkenler arasındaki ilişkiler. *İnönü Üniversitesi Tıp Fakültesi Dergisi*, 14(3), 171-179.
- Ersanlı, E. (2008). Yaşlıya Bakım Hizmetleri, Psikolojik, Sosyal ve Bedensel Açından Yaşlılık. Ankara: Pegem Akademi.
- Gümüş Demir, Z. (2020): Yaşlı Bireylerde Ölüm Kaygısı İKSAD yayınevi, İstanbul.
- Hayslip, B. & Hansson, R. O. (2003). Death awareness and adjustment across the life span. *Handbook of Death and Dying*, (1), 437-447.
- Kaçan Softa, H., Uçukoğlu, H., Ulaş Karahmetoğlu, G., Esen, D. (2011). Yaşlılarda ölüm kaygısı düzeyini etkileyen bazı faktörlerin incelenmesi. *Yaşlı Sorunları Araştırma Dergisi*, 4(1-2): 67-79.
- Kalkan, N. & Özdel, O. (2005). Yaşlılık, huzurevi ve yaşam yolculukları bir psikodrama grup çalışması. *Türk Psikiyatri Dergisi*, 16(2), 124-132.
- Karaca, F. (2010). Huzurevinde kalan yaşlıların hayata bakış açıları ve gelecekle ilgili beklentileri. *Aile ve Toplum*, 6(22):50-72.
- Karahan, F. Ş. & Hamarta, E. (2019). Geriatrik olgularda kronik hastalıkların ve polifarmasinin ölüm kaygısı ve anksiyete üzerine etkisi. *Ege Tıp Bilimleri Dergisi*, 2(1), 8-13.
- Karakuş, G., Öztürk, Z. & Tamam, L. (2012). Ölüm ve ölüm kaygısı. *Arşiv Kaynak Tarama Dergisi*, 21(1), 42-79.
- Kastenbaum, R. (2007). Death anxiety. Arizona State University, Tempe AZUSA.
- Konak, A., Çiğdem, Y. (2005). Yaşlılık olgusu: Sivas huzurevi örneği. *Cumhuriyet Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 29 (1), 23-63.
- Köstek, G. (2015). Huzur ve bakımevinde yaşayan yaşlıların ölüm kaygısı ve benlik saygısının incelenmesi (Yüksek Lisans tezi). <https://tez.yok.gov.tr>
- Madnawat, A. S., Kachhawa, P. S. (2007). Age, gender, and living circumstances: Discriminating older adults on death anxiety. *Death Studies*, 31(8), 763-769.
- Mohammadpour, A., Sadeghmoghadam, L., Shareinia, H., Jahani, S., Amiri, F. (2018). Investigating the role of perception of aging and associated factors in death anxiety among the elderly. *Clinical Interventions in Aging*, 13, 405-410. DOI: 10.2147/CIA.S150697
- Neimeyer, R. A., Wittkowski, J. & Moser, R. P. (2004). Psychological research on death attitudes: An overview and evaluation. *Death studies*, 28(4), 309-340.
- Özen, D. (2008). Huzurevinde yaşayan yaşlılarda ölüm kaygısının günlük yaşam işlevlerine etkisi. (Yüksek Lisans tezi). Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr>.
- Öztürk, Z., Karakuş, G., Tamam, L. (2011). Yaşlı Bireylerde Ölüm Kaygısı. *Anadolu Psikiyatri Dergisi*, 12(1):37-43.
- Saini, P., Patidar, A., B., Kaur, R., Kaur, M., Kaur, J. (2016). Death anxiety and Its Associated Factors among elderly population of Ludhiana City, Punjab. *Indian Journal of Gerontology*, 30(1): 101-110.
- Sayın Kasar, K., Karaman, E., Say, Şahin, D., Yıldırım, Y., Şenuzun Aykar, F. (2016). Yaşlı bireylerin yaşadıkları ölüm kaygısı ile yaşam kalitesi arasındaki ilişki. *Gümüşhane Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi*, 5(2): 48-55.
- Shaw, R., Langman, M (2017). Perceptions of being old and the ageing process. *Ageing Int*, 42: 115-135. DOI 10.1007/s12126-017-9279-5.
- Sinoff, G. (2017). Thanatophobia (Death Anxiety) in the elderly: The problem of the child's inability to assess their own parent's death anxiety state. *Frontiers in Medicine (e-journal)*,4: DOI: 10.3389/fmed.2017.00011.
- Softa, H. K., Karahmetoğlu, G. U., Erdoğan, O. & Yavuz, S. (2015). Yaşlılarda yaşam doyumunu etkileyen bazı faktörlerin incelenmesi. *Yaşlı Sorunları Araştırma Dergisi*, 8(1), 12-21.
- Taghiabadi, M., Kavosi, A., Mirhafez, S. R., Keshvari, M., Mehrabi, T. (2017). The association between death anxiety with spiritual experiences and life satisfaction in elderly people. *Electronic physician*, 9(3), 3980-3985. DOI: 10.19082/3980.
- Tang, C. S. K., Wu, A. M. & W. Yan, E. C. (2002). Psychosocial correlates of death anxiety among Chinese college students. *Death Studies*, 26(6), 491-499.
- Taycan, S. E., Kaya, F. D. & Taycan, O. (2014). Psikiyatri polikliniğine başvuran bir grup yaşlıda huzurevi ya da aile ile kalmanın depresyon ve anksiyete düzeyine etkisi. *Klinik Psikiyatri Dergisi*, 17(2), 73-82.
- Top, F. Ü., Saraç, A. & Yaşar, G. (2010). Huzurevinde yaşayan bireylerde depresyon düzeyi, ölüm kaygısı ve günlük yaşam işlevlerinin belirlenmesi. *Klinik Psikiyatri*, 13, 14-22.
- Turgay, M., (2003). Ölüm Korkusu ve Kişilik Yapısı Arasındaki İlişki. (Doktora tezi). Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr>
- Türkiye İstatistik Kurumu: İstatistiklerle Yaşlılar (2018). <https://hsgm.saglik.gov.tr/>
- Üstüner Top, F., Saraç, A., Yaşar, G. (2010). Huzurevinde yaşayan bireylerde depresyon düzeyi, ölüm kaygısı ve günlük yaşam işlevlerinin belirlenmesi. *Klinik Psikiyatri*, 13:14-22.
- Wysokiński, M., Fidecki, W., Jarosz, M. (2019). Elderly people's acceptance of death: A study of a Polish Cohort. *International Journal of Environmental Research and Public Health (e-journal)*, 2019 16(18), <https://doi.org/10.3390/ijerph16183374>
- Yelboğa, N. (2017). Yaşlılıkta ölüm anksiyetesi. *Journal of Current Researches on Health Sector*, 7(2), 53-68
- Yerli, G. (2017). Yaşlılık dönemi özellikleri ve yaşlılara yönelik sosyal hizmetler. *Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 10(52): 1278-1287. DOI:10.17719/jisr.2017.1979
- Zana, Á, Kegye, A., Czeplédi, E., Hegedús, K. (2020). Differences in well-being and fear of death among female hospice employees and volunteers in Hungary. *BMC Palliative Care (e-journal)*,19: DOI: 10.1186/s12904-020-00550-z
- Zhang, J., Peng, J., Gao, P., Huang, H., Cao, Y., Zheng, L., Miao, D. (2019). Relationship between meaning in life and death anxiety in the elderly: self-esteem as a mediator. *BMC geriatrics (e-journal)*,(1), <https://doi.org/10.1186/s12877-019-1316-7>.



# Denetleyici Alan Ağı'nın Güvenliğinin Sağlanması için Derin Öğrenme Tabanlı Saldırı Tespit Sistemleri Üzerine Bir Derleme

Zinnet Duygu Akşehir<sup>1\*</sup>, Sedat Akleylek<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Samsun, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-6834-6847), [duygu.aksehir@bil.omu.edu.tr](mailto:duygu.aksehir@bil.omu.edu.tr)

<sup>2</sup> Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Samsun, Türkiye (ORCID: 0000-0001-7005-6489), [sedat.akleylek@bil.omu.edu.tr](mailto:sedat.akleylek@bil.omu.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 26 Temmuz 2021 ve Kabul Tarihi 15 Kasım 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.974582)

**ATIF/REFERENCE:** Akşehir, Z. D. & Akleylek, S. (2021). Denetleyici Alan Ağı'nın Sağlanması için Derin Öğrenme Tabanlı Saldırı Tespit Sistemleri Üzerinde Bir Derleme. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (27), 1038-1049.

## Öz

Nesnelerin interneti fikrinin otomotiv alanına girmesi ile birlikte araçların interneti kavramı ortaya çıkmıştır. Araçların interneti hem araç içi ağ iletişimini hem de araçların diğer nesnelere olan iletişimini kapsamaktadır. Araç içi ağ iletişimi, araç içi çeşitli işlevleri sağlayan Elektronik Kontrol Birimleri arasındaki güvenilir bir iletişimi sağlamakta olup araç içi ağlar arasında en yaygın kullanılan denetleyici alan ağlarıdır. Denetleyici alan ağı, araç içi ağ için güvenli bir iletişim ortamı sunarken siber saldırılara karşı savunmasızdır. Bu derleme çalışmasında araç içi denetleyici alan ağı'nın güvenliğinin sağlanması için derin öğrenme yöntemini kullanan saldırı tespit sistemleri üzerine odaklanılmıştır. Bu kapsamda veritabanları üzerinde sistematik bir literatür taraması gerçekleştirilerek literatüre yön veren çalışmalar belirlenmiştir. Belirlenen çalışmalar kullanılan yöntem, veri kümesi, seçilen öznitelik ve odaklanılan saldırı bakımından detaylı bir şekilde incelenmiştir. Ayrıca incelenen çalışmalarda önerilen saldırı tespit modelinin performansının nasıl değerlendirildiği ifade edilmekle birlikte önerilen modelin diğer yöntemlerle yapılan karşılaştırmalar detaylandırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Nesnelerin interneti (IoT), Araçların interneti (IoV), Araç içi ağ (IVN), Güvenlik, Denetleyici alan ağı (CAN), Saldırı tespit sistemi (IDS), Derin öğrenme.

## A Review on Deep Learning Based Intrusion Detection Systems for Ensuring Security of Controller Area Network

### Abstract

The concept of the Internet of vehicles emerges with the definition of the Internet of things idea into the automotive field. The internet of vehicles covers both in-vehicle network and the communication of vehicles with other things. The in-vehicle network provides reliable communication between Electronic Control Units providing various in-vehicle functions, and the most widely used among in-vehicle networks is the controller area networks. The controller area network is vulnerable to cyber-attacks while providing a secure communication environment for the in-vehicle network. This survey paper focuses on intrusion detection systems that use deep learning to secure the in-vehicle controller area network. In this context, systematic literature research is conducted on scientific/academic databases, and papers are determined that has an effect on the literature. The studies are examined in detail in terms of the used method, dataset, selected attribute, and focused attack. In addition, the previous studies are compared with the others in detail.

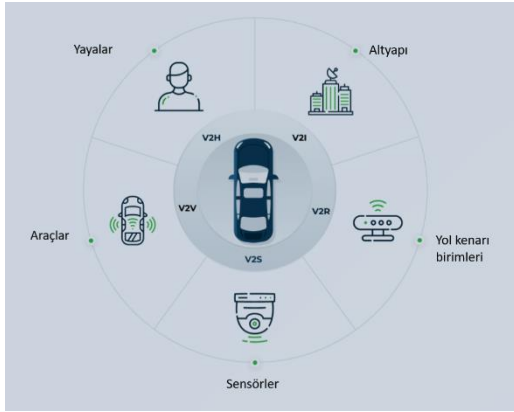
**Keywords:** Internet of things (IoT), Internet of vehicles (IoV), In-vehicle network (IVN), Security, Controller area network (CAN), Intrusion detection system (IDS), Deep learning.

\* Sorumlu Yazar: [duygu.aksehir@bil.omu.edu.tr](mailto:duygu.aksehir@bil.omu.edu.tr)



## 1. Giriş

İletişim teknolojilerinin ve internetin gelişmesiyle birlikte Nesnelerin İnterneti olarak ifade edilen IoT (Internet of Things) kavramı ortaya atılmıştır. IoT, akıllı nesnelere birbirine bağlayan ve bu nesnelerin birbirleriyle iletişim kurarak veri alışverişinde bulunmalarını sağlayan bir ağ olarak tanımlanmaktadır (Sharma vd., 2018). IoT'nin bir alt ağı olarak ifade edilen Araçların İnterneti (Internet of Vehicles-IoV) ise farklı iletişim ortamları aracılığıyla araç ve çevresi arasında bilgi alışverişini sağlayan bir platformdur. Şekil 1'de gösterildiği gibi IoV, araçtan araca (V2V), araçtan yol kenarı birimine (V2R), araçtan altyapıya (V2I), araçtan sensöre (V2S) ve araçtan yayalara (V2P) olmak üzere farklı türlerde araç iletişimini içinde barındırmaktadır. Dolayısıyla IoV araç, insan ve sensörler gibi birçok kaynak türünü içeren heterojen bir ağ sistemi olarak ifade edilmektedir (Kaiwartya vd., 2016). Ayrıca IoV, araç içi ağ, kablosuz yerel alan ağı (WLAN), araçsal tasarsız ağlar (VANET) ve hücresel ağ dahil olmak üzere bu ağların birleşimi olarak nitelendirilen büyük bir ağ haline gelmiştir (Wang ve Liu, 2018).



Şekil 1. IoV Heterojen Ağ Mimarisi

Günümüzde araç içi işlevsellik, birbirine bağlı Elektronik Kontrol Birimleri (ECU) tarafından kontrol edilmektedir (Bozdal vd., 2020). Modern araçların, araç içi çeşitli işlevlerini yöneten ve mekanik kontrol birimlerinin yerini alan yüzden fazla ECU ile donatıldığı belirtilmektedir. Bu sayının gelecek yıllarda daha da artması öngörülmektedir (Hira, 2017). Her bir ECU'nun genellikle bir işlevi (direksiyon açısının kontrolü gibi) vardır ve bu ECU'lar aracın her tarafına dağıtılarak birbirleri ile iletişim kurabilir, bilgi alışverişinde bulunabilir. Araç içi ağ, ECU'lar arasındaki veri paylaşımını kolaylaştırmaktadır. Modern araç iletişim sistemlerinde kullanılan farklı araç içi ağlar olmakla birlikte en yaygın kullanılanı CAN'dir (Controller Area Network) (Al-Jarrah vd., 2019; Khatri vd., 2021). Denetleyici Alan Ağı olarak ifade edilen CAN, ECU'lar arasında iletişimi sağlamak için 1980'lerin ortasında Robert Bosch tarafından geliştirilen seri iletişim protokolüdür (Bosch, 2014). CAN, güvenlik için değil güvenilir iletişim sağlamak amacıyla tasarlanan bir protokoldür. Dolayısıyla siber saldırılara karşı savunmasızdır (Bozdal vd., 2020; Al-Jarrah vd., 2019). Örneğin, hava yastığı veya fren sistemine (ABS – Anti-lock Braking System) yapılan saldırı nedeniyle sürücünün ve yolcuların güvenliği tehlikeye girebilir. Bu durum otomobil üreticisinin itibarını, geri çağırma gibi önemli finansal sonuçlarla etkileyebilir. Gerçek hayattan örnek verilirse, Miller ve Valasek Jeep Cherokee aracına saldırı gerçekleştirerek aracı uzaktan kontrol etti. Bu durum 1,4 milyon aracın geri çağırılmasına neden oldu (Miller, 2019). Araç içi ağ sisteminde

mevcut olan bu tehditler sadece hedef aracın güvenliğine değil, aynı zamanda diğer araçlar, yayalar ve altyapılar dahil olmak üzere yol ortamına da zarar verebilir (Song ve Kim, 2021).

CAN protokolünde mevcut olan bu güvenlik açığının temel iki nedeni vardır: şifreleme ve kimlik doğrulama eksikliği. CAN'deki bu güvenlik açıklarına olası çözümler bulmak için kapsamlı çalışmalar yapılmış ve çalışmalar sonucunda şifreleme, kimlik denetimi ve saldırı tespit sistemleri önerilmiştir (Bozdal vd., 2020).

### 1.1. Motivasyon ve Kapsam

Bu derleme çalışması için yapılan literatür taraması sonucunda hem araç içi CAN güvenliğine hem de derin öğrenme tabanlı saldırı tespit sistemlerine odaklanan ulusal çalışmalara rastlanmamıştır (Çalışır vd., 2019; Kalkan ve Sahingoz, 2020; Baki ve Tutkun, 2021). Bu sebeple yabancı güncel kaynaklara odaklanılmıştır.

Bu çalışma kapsamında araç içi CAN güvenliğinin sağlanması için derin öğrenme yöntemlerini kullanan saldırı tespit sistemleri (Intrusion Detection System-IDS) incelenmiştir. Bunun için öncelikli olarak araç içi CAN güvenliği kapsamında yapılan derleme çalışmaları araştırılmış ve 2017-2021 yılları arasında 8 çalışma detaylı olarak incelenmiştir. Elde edilen bu derleme çalışmaları aşağıda belirtilen 5 kriter üzerinden değerlendirilmiş olup bu değerlendirme Tablo 1'de ifade edilmiştir:

- Derleme çalışmasında incelenecek çalışmalar için veritabanları üzerinden taramalar nasıl yapılmış, bunlar hakkında istatistiksel bilgiler verilmiş mi, dolayısıyla yapılan derleme çalışması sistematik midir?
- IDS'ler için öznitelik seçimi detaylandırılmış mı?
- Derin öğrenme tabanlı IDS'lere odaklanılmış mı?
- CAN'e yapılan saldırılar hakkında bilgi verilmiş mi?
- Derleme çalışması kapsamında incelenen çalışmalar için performans karşılaştırılması yapılmış mı?

İncelemeler sonucunda 8 derleme çalışmasının hiçbirinde sistematik literatür taramasının yapılmadığı, dolayısıyla derlemelerde incelenen çalışmaların nasıl belirlendiği ile ilgili bilgilerin yer almadığı görülmüştür. Derlemelerin çoğunda incelenen çalışmaların, IDS için öznitelik seçimini nasıl yaptığı ve önerilen IDS modelinin diğer yöntemlere bir üstünlük sağlayıp sağlamadığı konusunda da detaylı bilgilerin olmadığı tespit edilmiştir. Ayrıca derlemelerin çoğu CAN-IDS modeli için derin öğrenme yöntemlerine odaklanmayıp bazıları ise makine öğrenimi tabanlı IDS başlığı altında derin öğrenmeye yüzeysel olarak değinmiştir. Bunların yanısıra incelenen derleme çalışmalarının neredeyse tümü CAN'e yapılan saldırılar hakkında genel bilgiler vermiştir.

İncelenen derleme çalışmalarında, sistematik literatür taramasının nasıl yapıldığı, çalışmaların nasıl belirlendiği, derin öğrenme yöntemlerinden hangilerine odaklanıldığı, öznitelik seçiminin ve önerilen IDS modellerinin performans karşılaştırmasının nasıl yapıldığı hakkındaki bilgilerin detaylı olarak verilmediği görülmüştür. Bu çalışma kapsamında, incelenen derlemelerdeki bu eksiklikler giderilmiş olup belirlenen 5 kriter hakkında detaylı bilgiler verilmiştir.

Tablo 1. Derleme Çalışmalarının Değerlendirilmesi

Çalışma	Yıl	Sistemantik	Öznitelik seçimi	Derin öğrenme	Saldırırlar	Performans karşılaştırması
<i>Cyber security attacks to modern vehicular systems (Pan vd., 2017)</i>	2017	Hayır	Hayır	Hayır	Evet	Hayır
<i>Review of secure communication approaches for in-vehicle network (Hu ve Luo, 2018)</i>	2018	Hayır	Hayır	Hayır	Kısmen	Kısmen
<i>Survey of automotive controller area network intrusion detection systems (Young vd., 2019)</i>	2019	Hayır	Hayır	Hayır	Hayır	Kısmen
<i>Intrusion detection systems for intra-vehicle networks: A review (Al-Jarrah vd., 2019)</i>	2019	Hayır	Evet	Hayır	Evet	Evet
<i>Intrusion detection system for automotive Controller Area Network (CAN) bus system: A review (Lokman vd., 2019)</i>	2019	Hayır	Kısmen	Kısmen	Evet	Hayır
<i>A survey of intrusion detection for in-vehicle networks (Wu vd., 2019)</i>	2020	Hayır	Hayır	Evet	Kısmen	Evet
<i>Evaluation of can bus security challenges (Bozdal vd., 2020)</i>	2020	Hayır	Hayır	Hayır	Evet	Kısmen
<i>Cyberattacks and countermeasures for in-vehicle networks (Aliwa vd., 2021)</i>	2021	Hayır	Kısmen	Hayır	Evet	Hayır
<i>Bu çalışma</i>	2021	Evet	Evet	Evet	Evet	Evet

## 1.2. Organizasyon

Çalışma şu şekilde organize edilmiştir: Bölüm 2’de CAN için altyapı sağlanmış olup öncelikle araç içi ağ iletişimi ifade edilmiş ardından CAN’in güvenlik açıklarından ve veri çerçeve formatından bahsedilmiştir. Bölüm 3’te, derleme çalışmasının belirlenen hedefe ulaşması için incelenecek olan çalışmaların nasıl belirlendiği detaylandırılmış ve Bölüm 4’te bu çalışmalar belirlenen araştırma soruları kapsamında detaylı bir şekilde incelenmiştir. Son bölümde ise incelenen çalışmaların genel bir değerlendirmesi yapılmıştır.

## 2. Denetleyici Alan Ağı

Bu bölümde öncelikle araç içi iletişimin nasıl gerçekleştirildiği, bu iletişimin gerçekleştirilmesi için hangi ağların kullanıldığı ile ilgili bilgiler verilmiş ve bu araç içi ağların karşılaştırılması yapılmıştır. Ardından derleme çalışması kapsamında odaklanılan CAN detaylandırılmış, araç içi ağ iletişimi için kullanılan veri çerçeve formatlarından bahsedilmiş ve CAN’in güvenlik açıklarına değinilmiştir.

## 2.1. Araç İçi Ağ İletişimi

Gelişen teknolojinin araç üreticileri tarafından hızla benimsenmesi ile birlikte modern araçların işlevselliğinde de büyük artışlar meydana gelmektedir. Bu durum, modern araçlardaki ECU sayılarının artışına neden olmaktadır. ECU’lar arasında verimli bir iletişimin sağlanması için LIN (Local Interconnection Network), CAN, FlexRay, Ethernet ve MOST (Media Oriented System Transport) gibi çeşitli araç içi ağ iletişim protokolleri kullanılmaktadır. Tablo 2’de bu beş araç içi ağ protokolü bant genişliği, kullandıkları topolojiler, güvenlik tehditleri, avantaj ve dezavantajları açısından karşılaştırılmıştır. LIN, düşük seviyede güvenlik tehdidine ve maliyete sahip olmasına rağmen araç içinde düşük hızda bir iletişim sağlamaktadır. Bununla birlikte hata toleransı da oldukça düşüktür. Diğer taraftan FlexRay, Ethernet ve MOST, LIN’den daha yüksek bant genişliğine sahip olmasına rağmen bu ağ protokolleri LIN’den daha yüksek seviyede güvenlik tehdidine ve yüksek maliyete sahiptir. 1980’lerin ortasında Robert Bosch tarafından geliştirilen CAN, maliyetinin düşük olması, güvenilir haberleşme sağlaması, ölçeklenebilir olması ve düşük ağ karmaşıklığı nedeniyle araç içi ağlar arasında yaygın olarak kullanılmaktadır (Al-Jarrah vd., 2019; Khatri vd., 2021). CAN seri iletişim protokolü başlangıçta otomotiv uygulamaları için

geliştirilmiş olsa da asansör kontrol sistemleri, askeri uygulamalar, tekstil endüstrisi gibi pek çok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır (Al-Jarrah vd., 2019).

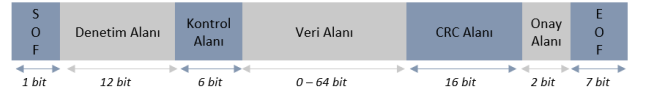
## 2.2. CAN Veri Çerçevesi

CAN, araç içindeki çeşitli ECU'lar arasında veri yolu aracılığıyla CAN paketlerinin iletilmesine yardımcı olur ve yayın iletişimine dayanır. Başka bir deyişle veri yoluna bağlı her ECU, veri yolundan mesaj alabilir ya da veri yoluna mesaj gönderebilir. CAN paketlerinin ECU'lar arasındaki iletimi için kullanılan CAN 2.0A standart veri çerçevesi Şekil 2'de ifade edilmiştir. Standart veri çerçeve formatında denetim alanı içerisinde bulunan 11 bitlik CAN ID bilgisinin 29 bite genişletilmesiyle birlikte CAN 2.0B genişletilmiş veri çerçeve formatı elde edilmektedir. Dolayısıyla, bu iki veri çerçeve formatı arasındaki fark denetim alanlarının uzunluğundan kaynaklanmaktadır. Her iki veri çerçeve formatı 7 kısımdan oluşmaktadır (Song ve Kim, 2021; Khatri vd., 2021; Liu vd., 2017; Hossain vd., 2020):

- *Çerçeve başlangıcı (Start of Frame-SOF)*: Bir bitlik SOF bilgisi yeni bir mesajın başlangıcını belirterek tüm düğümleri senkronize etmek için kullanılır.
- *Denetim alanı (Arbitration field)*: Bu alanda CAN ID olarak bilinen kimlik bilgisi yer almaktadır. CAN mesajında gönderici veya alıcı düğüm hakkında herhangi bir bilgi bulunmamaktadır. Dolayısıyla CAN ID bilgisi, mesajda hangi araç bilgilerinin tutulduğunu belirtmek için kullanılmaktadır. Ayrıca mesaj önceliği de bu alana

göre gerçekleştirilmekte olup düşük CAN ID'ye sahip mesajlar daha yüksek önceliklidir.

- *Kontrol alanı (Control field)*: Bu alan kaç byte verinin gönderileceğini belirtmekle birlikte bunun dışında rezerve edilmiş bitler de mevcuttur.
- *Veri alanı (Data field)*: Bu alan, CAN veri çerçeveleri ile iletilecek olan veriyi içermektedir. İletilen bu veriler maksimum 64 bit (8 bayt) uzunluğundadır.
- *CRC alanı*: Veri iletimi sırasında meydana gelen hataları tespit etmek için kullanılmaktadır.
- *Onay alanı (Acknowledge field)*: Verinin iletilmesi sırasında oluşabilecek hataları tespit etmenin bir yolu da gönderilen mesaj için bir onay istenmesidir. Bu alan, alıcı düğüm tarafından verinin hatasız bir şekilde alındığını belirtmek için kullanılmaktadır.
- *Çerçeve sonu alanı (End of Frame-EOF)*: Veri çerçevesinin sonlandığını belirtmek için EOF alanı kullanılmaktadır.



Şekil 2. CAN 2.0A Standart Veri Çerçeve Formatı

Tablo 2. Araç İçi Ağ Protokollerinin Karşılaştırılması

Ağ protokolü	Bant genişliği	Güvenlik Tehditi	Ağ Topolojisi	Avantaj	Dezavantaj
LIN	1 Kbps -1 Mbps	Düşük	Bus	Düşük maliyet, gerçekleştirilmesi kolay	Düşük hız
CAN	125 Kbps- 20 Kbps	Düşük-Orta	Çoğunlukla Bus	Düşük maliyet	Düşük bant genişliği
FlexRay	10 Mbps	Yüksek	Bus, Yıldız veya Hibrid	Hata toleransı LIN ve CAN'den daha iyi	Yüksek maliyet
Ethernet	100 Mbps	Orta-Yüksek	Uçtan uca	Yüksek hız (CAN'den 100 kat daha hızlı)	Yüksek maliyet
MOST	24 Mbps	Orta	Halka	Yüksek hız	Çok yüksek maliyet

## 2.3. CAN'deki Güvenlik Açığı

CAN, siber saldırılara karşı savunmasızdır (Bozdal vd., 2020; Al-Jarrah vd., 2019). CAN protokolünde mevcut olan bu güvenlik açığı, mesajların şifrelenmemesi ve kimlik doğrulamanın yapılmamasından kaynaklanmaktadır. CAN, tasarım gereği ağ üzerinden iletilen mesajların/verilerin saldırgan tarafından ele geçirilmesine izin veren yayın protokolüdür. Dolayısıyla yayınlanan mesajlar şifrelenmediği için saldırgan tarafından veriler kolaylıkla elde edilebilir. Ayrıca CAN protokolü mesajların kaynağını doğrulamak için bir kimlik doğrulama mekanizması sağlamadığından saldırgan, CAN'e eriştikten sonra ağ üzerinden araç sistemini yanıltıcı mesajlar gönderebilir (Al-Jarrah vd., 2019). Literatürde, bu güvenlik açıklarına olası çözümler olarak şifreleme, kimlik doğrulama ve saldırı tespit

sistemleri üzerine odaklanılmıştır. Gerçekleştirilen derleme çalışması kapsamında araç içi CAN için önerilen saldırı tespit sistemleri incelendiğinden bu bölümde CAN'e yapılan siber saldırılar detaylandırılmıştır.

- *Hizmet Reddi Saldırıları (Denial of Service (DoS) attacks)*: CAN mesajlarının ID bilgisine göre öncelik mekanizmasına sahip olmalarından dolayı CAN DoS saldırılarına karşı savunmasızdır. Tüm ECU düğümleri tek bir veri yolu paylaştığı için saldırganlar, CAN veri yolunda yüksek öncelikli mesajlar iletildiğinde diğer ECU düğümlerinin mesaj göndermesine izin vermez. Dolayısıyla saldırgan tarafından gerçekleştirilen DoS saldırıları, CAN veri yolunda gecikmelere neden olmaktadır. Bir aracın, sürücünün komutlarına

zamanında yanıt vermemesi DoS saldırılarına örnek olarak verilebilir (Khatri vd., 2021; Liu vd., 2017).

- **Bulanık Saldırılar (Fuzzing attacks):** Saldırganlar, rastgele veri alanı ve sahte kimliklere sahip rastgele CAN mesajları oluşturarak bu saldırıyı gerçekleştirir. Araştırmacılar, bulanık saldırıların araçların arızalanmasına ve istenmeyen davranışlar sergilemesine neden olabileceğini ve bu durum karşısında yolcuların hayatlarını tehlikeye atabileceğini belirtmiştir (Khatri vd., 2021).
- **Tekrar Saldırıları (Replay attacks):** Saldırgan, CAN veri yolu üzerinden iletilen mesajları toplayabilir ve bu mesajları daha sonra tekrar iletebilir. CAN protokolünde kimlik doğrulaması yapılmadığından ECU'lar, bu mesajların kaynağının sahte olup olmadığını belirleyemez. Dolayısıyla bu tür saldırıların algılanması zordur. Saldırgan, önceden iletilen mesajları saklayıp, daha sonra tekrar CAN'e ileterek duran bir aracı motorunu çalıştırabilir, kapıyı açabilir veya aracı uzaklaştırabilir (Khatri vd., 2021; Liu vd., 2017).
- **Sahtecilik Saldırıları (Spoofing attacks):** Saldırgan, değiştirilmiş mesajları veri yolundan iletmek için belirli CAN ID'lerini hedef alır. Sahte mesajları tanımlamak zor olduğu için bu saldırı türü, araç sisteminin arızalanmasına sebep olabilir (Khatri vd., 2021; Hossain vd., 2020).

### 3. Araştırma Yöntemi

İncelenen derleme çalışmalarında sistematik bir kapsam üzerinden hareket edilmemiştir. Başka bir ifadeyle, incelenen çalışmaların nasıl belirlendiği detaylandırılmamıştır. Bu derleme çalışmasında ise öncelikle belirlenen hedefe yönelik olarak araştırma sorularının neler olduğu belirlenmiştir. Ardından bu araştırma sorularına cevap arayacak çalışmaların seçilmesi üzerine veritabanı taramaları için sorgu cümlelerinin nasıl belirlendiği detaylandırılmıştır. Son olarak, veritabanı taramalarının ardından elde edilen çalışmalar için elemelerin nasıl gerçekleştirildiğinden bahsedilmiştir.

#### 3.1. Araştırma Stratejisi

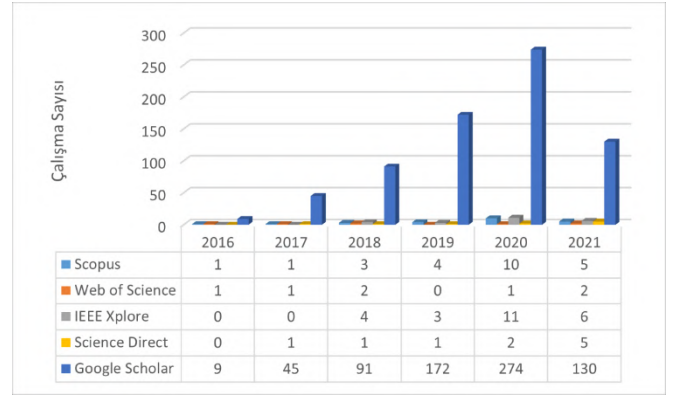
Bu sistematik derleme çalışması için belirlenen hedefe ulaşmaya yönelik olarak öncelikle aşağıdaki araştırma soruları oluşturulmuştur:

- S1: Araç içi CAN için önerilen saldırı tespit sistemlerinde derin öğrenme yöntemlerinden hangisi tercih edilmektedir?
- S2: Bu IDS'ler hangi saldırı türlerine odaklanmıştır, CAN verileri nasıl toplanmıştır ve hangi öznelikler seçilmiştir?
- S3: Önerilen saldırı tespit modellerinin performansı hangi metrikler kullanarak değerlendirilmiştir ve literatürdeki diğer çalışmalara bir üstünlük sağlamakta mıdır?

Araştırma sorularının belirlenmesinin ardından bu sorulara cevap aramak için IEEE Xplore, Scopus, Web of Science, Science Direct ve Google Scholar olmak üzere beş veritabanı üzerinde literatür taraması gerçekleştirilmiştir. Belirlenen farklı anahtar kelimeler için "AND", anahtar kelimelerin eş anlamlıları için

"OR" anlamsal operatörleri Tablo 3'te özetlendiği gibi kullanarak arama uzayı genişletilmiştir.

Beş veritabanı için kullanılan sorgu cümleleri ve hangi alanlarda tarandığı hakkındaki bilgiler Tablo 3'te verilmektedir. Tabloda yer alan bilgiler doğrultusunda beş veritabanı üzerinde sorgular gerçekleştirilmiş ve bu sorgular sonucunda 2016 yılından günümüze kadar olan çalışmaların sayısı Şekil 3'te özetlenmiştir. Google Scholar sorgularında hedefe yönelik çalışmaların yanı sıra çok genel sonuçlara da ulaşıldığı için bu veritabanı üzerinde etkili bir filtrelemenin gerçekleştirilmediği görülmüştür. Bu sebeple Google Scholar sorguları gözardı edilmiştir. Sonuç olarak dört veritabanında 2016-2021 yılları arasında yayınlanan toplam 65 çalışma listelenmiştir.



Şekil 3. Sorgu Cümleleri ile Veritabanlarında Filtrelenen Çalışmalar

#### 3.2. Çalışmaların Seçimi

2016-2021 yılları arasında yapılan sorgulamalar sonucunda yakın geçmişe ağırlık verilmesi düşünülüp bu aralık 2019-2021 olarak güncellenmiş ve yayımlanan çalışma sayısı 65'ten 50'ye düşürülerek 50 çalışma üzerinden elemeler gerçekleştirilmiştir. Yapılan sorgulamalar sonucunda elde edilen 50 çalışmadan bazılarının birden fazla veritabanında tarandığı görülmüştür. Bu yüzden, veritabanlarında ortak taranan çalışmaların bir kez listelenmesi sağlanmıştır. Listelenen çalışmaların, derleme çalışması kapsamında incelenmeye değer olup olmadığının belirlenmesi için eleme ve seçme kriterleri aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

*Seçme kriterleri:*

- 2019-2021 yılları arasında Q1 veya Q2 sınıflı dergilerde yayımlanan çalışmalar
- Araç içi CAN güvenliği için derin öğrenme yöntemlerinin kullanıldığı çalışmalar

*Eleme kriterleri:*

- Yayımlanan çalışmaların derleme veya konferansta sunulmuş bildiri olması
- Araç içi CAN güvenliği için derin öğrenme yöntemlerine odaklanmayan çalışmalar

Çalışmaların başlıkları, özetleri okunmuş ve belirlenen bu kriterler doğrultusunda 50 çalışmadan incelenmek üzere 9 çalışma seçilmiştir. Çalışmalar incelenirken 2016 yılında yayımlanan Kang ve Kang'ın (2016) yapmış olduğu çalışmasına yapılan atıf sayısının 370 olduğu görülmüştür. Bu sebeple

belirlenen 9 çalışmaya bu çalışma da eklenmiş olup toplam 10 çalışma detaylı bir şekilde incelenmek üzere seçilmiştir.

Tablo 3. Veritabanlarında Gerçekleştirilen Sorguların Detayları

Veritabanı	Sorgu Cümlesi	Tarandığı Alan
IEEE Xplore	("controller area network" OR "CAN bus") AND ("deep learning" OR "DL") AND ("intrusion detection" OR "anomaly detection" OR "attack detection")	Tüm alanlar
Scopus	(TITLE-ABS-KEY (("controller AND area AND network" OR "CAN bus")) AND TITLE-ABS-KEY (("deep AND learning" OR "dl")) AND TITLE-ABS-KEY (("intrusion AND detection" OR "anomaly AND detection" OR "attack AND detection" )))	Başlık, özet, anahtar kelimeler
Web of Science	AB = (("controller area network" OR "CAN bus") AND ("deep learning" OR "DL") AND ("intrusion detection" OR "anomaly detection" OR "attack detection"))	Özet
Science Direct	((("controller area network" OR "CAN bus") AND ("deep learning" OR "DL") AND ("intrusion detection" OR "anomaly detection" OR "attack detection"))	Başlık, özet, anahtar kelimeler
Google Scholar	((("controller area network" OR "CAN bus") AND ("deep learning" OR "DL") AND ("intrusion detection" OR "anomaly detection" OR "attack detection"))	Tüm alanlar

## 4. Literatür Taraması ve Analizi

Bu bölümde, her bir araştırma sorusu için 10 çalışmanın ayrı ayrı analizi verilmiştir.

### 4.1. S1: CAN-IDS'lerde Kullanılan Derin Öğrenme Yöntemleri

Song ve arkadaşları (2020), araç içi haberleşmeyi sağlayan CAN'i siber saldırılardan korumak için derin evrişimli sinir ağına (Deep Convolutional Neural Network-DCNN) dayalı bir saldırı tespit sistemi önermiş ve bu yöntemle CAN veriyolu üzerinden iletilen mesajların saldırı mı yoksa normal mi olduğunun tespitini gerçekleştirmiştir. Önerilen IDS için DCNN'nin bir türü olan ve büyük ölçekli görüntülerin sınıflandırılması için tasarlanan Inception-Resnet modeli kullanılmıştır. Girdi-çıkış boyutundaki farklılıklar ve veri yapısının karmaşıklığı nedeniyle mimarideki bileşenler azaltılarak ve parametreler ayarlanarak orijinal Inception-Resnet modeli yeniden tasarlanmıştır. Tasarlanan bu model, Song ve Kim (2021) tarafından gerçekleştirilen çalışmada da kullanılmıştır. Elde ettikleri CAN verileri ile bu modeli eğittiklerinde patlayan gradyan problemi ile karşılaşmışlar. Bu sorunun üstesinden gelmek için hesaplanan gradyanın belirledikleri eşik değerinden daha büyük olması durumunda gradyan kırma işleminin uygulanmasını önermişlerdir.

Tariq vd. yapmış oldukları çalışmada CAN veri yolu için anomalilik oluşturma, algılama ve değerlendirme sistemi olan CAN-ADF'i (CAN Bus Message Attack Detection Framework) önermiştir. Önerdikleri bu sistemde saldırıların tespiti için kural tabanlı sezgisel yaklaşımdan ve tekrarlayan sinir ağlarının bir türü olan Uzun-Kısa Dönemli Bellek Ağı (Long-Short Term Memory-LSTM) yönteminden yararlanılmıştır. Kural tabanlı sezgisel yaklaşım için öncelikle CAN trafiği analiz edilmiş ve ardından çalışmada belirlenen saldırıların her biri için kurallar tanımlanmıştır. Bu iki yöntem hem ayrı ayrı hem de beraber uygulanarak CAN veri yolundaki saldırılar tespit edilmeye çalışılmıştır (Tariq vd., 2020).

Hossain ve arkadaşları tarafından araç içi CAN veri yoluna yapılan ağ saldırılarını tespit etmek ve saldırıları azaltmak için LSTM yöntemine dayanan IDS modeli geliştirilmiştir. İnceledikleri çalışmalar doğrultusunda, CAN'e yapılan saldırıların tespitinde derin öğrenme yöntemlerinden özellikle

LSTM'in istatistiksel analiz, Hidden Markov modeli ve frekans tabanlı analiz gibi yöntemlere oranla daha iyi performans gösterdiğini ve bu sebeple de LSTM yöntemini tercih ettiklerini belirtmişlerdir. Belirlenen bu yöntemin öğrenme oranı, aktivasyon fonksiyonu, gizli katman sayısı, optimizasyon algoritması ve kayıp fonksiyonu hiperparametreleri için çeşitli denemeler yapılarak en iyi parametreler seçilmeye çalışılmıştır. Hiperparametre ayarlamalarının yapılmasının ardından önerilen LSTM modeli ile hem ikili sınıflandırma (saldırı/normal) hem de saldırı türünün tespit edilmesi için çoklu sınıflandırma gerçekleştirilmiştir (Hossain vd., 2020). Başka bir çalışmada, Qin ve arkadaşları da CAN veri yolundaki saldırıların tespiti için LSTM yöntemini kullanmıştır. Çalışmalarında önerdikleri LSTM modelinin mimarisini hakkında çok fazla detaya yer vermeyip sadece optimizasyon algoritması ve öğrenme oranı hiperparametrelerinin seçimine değinilmiştir (Qin vd., 2021).

Hanselmann ve arkadaşları (2020) ise CAN veri yolundan gelen büyük boyutlu CAN mesaj akışından bilinen ve bilinmeyen saldırı türlerini tespit etmek için derin öğrenmeye dayalı CANet isimli bir saldırı tespit modeli önermiştir. Bu modelde LSTM ve otokodlayıcı (Autoencoder-AE) yöntemlerinden yararlanılmış olup denetimsiz öğrenme yaklaşımı esas alınmıştır. Ayrıca önerilen modelin dezavantajı olarak sistemin karmaşık olması, sinir ağının eğitimi için büyük boyutlu eğitim verisinin gerektiği ve hesaplama maliyetinin yüksek olduğu belirtilmiştir.

Kang ve Kang yapmış oldukları çalışmada araç içi CAN veri yoluna yerleştirilen kötü amaçlı veri paketlerini tespit etmek için Derin Sinir Ağları (Deep Neural Network-DNN) tabanlı IDS önermiştir. Önerdikleri bu yöntem ile ağ üzerinden iletilen paketlerin normal mi yoksa kötü amaçlı mı olduğunu belirlemek için ikili sınıflandırma yapılmıştır (Kang ve Kang, 2016). DNN yöntemini kullanan başka bir çalışmada (Zhang vd., 2019) ise araç içindeki anormal davranışların tespitinin doğruluğunu ve verimliliğini arttırmak için 2 farklı optimizasyon algoritması önerilmiştir. Bunlar momentumlu gradyan iniş (Gradient Descent with Momentum-GDM) ve uyarlanabilir kazançlı GDM (Gradient Descent with Momentum and Adaptive Gain-GDM/AG) algoritmalarıdır. Zhang vd. (2019), GDM ve GDM/AG algoritmalarının kullanılmasının asıl hedefinin önerilen IDS modelinin daha hızlı yakınsamasını sağlayarak daha kısa sürede saldırıların tespit edilmesi olduğunu belirtmiştir.

Gao ve arkadaşları (2019) araç içi saldırı tespiti ile ilgili yapılan geçmiş çalışmaları incelemiş ve bu çalışmalarda önerilen IDS modellerinin büyük bir kısmının belirli bir araca veya belirli saldırılara yönelik olduğunu başka bir deyişle IDS'lerin evrensel olmadığını belirtmiştir. Bu kapsamda, evrensel bir IDS modeli oluşturmak için derin öğrenmeye ve bilgi temsil yapısı olan SOEKS'e (Set of Experience Knowledge Structure) dayalı yeni bir araç içi saldırı tespit modeli önerilmiştir. Bu çalışmada, derin öğrenme yönteminin öznel çıkarmı için kullanıldığı yüzeysel olarak ifade edilmiş olup evrensel IDS modelinin temelini oluşturan SOEKS yapısına daha fazla değinilmiştir.

Amato ve diğerleri (2021), CAN veri yoluna yönelik saldırıların tespit edilmesi için derin öğrenmeye dayalı iki farklı sınıflandırma algoritması kullanmıştır: Sinir Ağları (Neural Networks-NN) ve Çok Katmanlı Algılayıcı (Multi Layer Perceptron-MLP). Bu iki algoritma ile hem ikili hem de çoklu sınıflandırma gerçekleştirilmiştir. Ayrıca MLP mimarisinin gizli katman sayısındaki değişikliğin saldırı tespit modelinin performansı üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

## 4.2. S2: CAN-IDS'lerde Kullanılan Veri Kümesi ve Odaklanılan Saldırı Türleri

Hossain ve arkadaşları (2020), önerdikleri LSTM tabanlı CAN-IDS modeli için hem kendi veri kümelerini oluşturmuş hem de (Han vd., 2018) çalışmasındaki üç farklı araçtan (Sonata, Soul ve Spark) toplanan ve üç saldırı türünü içeren veri kümesini kullanmıştır. Oluşturdukları veri kümesi için Vehicle Spy analiz aracı ile Toyota Hybrid otomobilinden saldırısız CAN mesajları toplanmıştır. Toplanan gerçek CAN mesajlarına, tasarlanan DoS, bulanık ve sahtecilik saldırı senaryoları uygulanarak saldırı veri kümesi oluşturulmuştur. Veri kümesindeki her bir kayıt 11 öznitelik ve etiket bilgisine (saldırı/iyi huylu) sahip olmakla birlikte önerilen IDS modeli için zaman damgası dışındaki 10 öznitelik seçilmiştir:

- CAN- ID: CAN mesajlarının kimlik bilgisi.
- DLC: İletilen verinin kaç bayt olduğu bilgisi (maksimum 8 bayt olabilir).
- Veri alanı (D0-D7): İletilen verideki her bir baytta tutulan bilgi.

Kang ve Kang (2016) yapmış oldukları çalışma için araç içi ağı simüle ederek yaklaşık 200.000 CAN paketi üretmiştir. Bu çalışmada genel bir saldırı senaryosu tasarlanarak bazı CAN paketleri manipüle edilmiştir. Önermiş oldukları saldırı tespit modeli için CAN paketlerinin sadece 64 bitlik veri alanıyla ilgilenilmiştir. Bu paketlerden ağın istatistiksel davranışını temsil eden özelliklerin çıkarılması için DNN yöntemini kullanarak kötü amaçlı bir saldırının olup olmadığını tespit etmeye çalışmışlardır.

Zhang vd. (2019), çalışmalarında kullanılacak veri kümesi için gerçek bir araçtan KvaserCAN Leaf Light V2 aracılığıyla CAN paketlerini toplamıştır. Toplanan CAN paketleri üzerinde tekrar ve sahtecilik saldırılarının oluşturulması için bilgisayar aracılığıyla saldırganlar simüle edilmiştir. Ayrıca CAN paketlerinin zaman damgası, mesaj kimliği (CAN-ID), veri alanı ve aracın durum bilgisini içeren açıklamaların yer aldığı belirtilmiştir.

Araç içi evrensel IDS modeli için SOEKS bilgi temsil yapısını öneren Gao ve arkadaşları (2019), öncelikle araç içi ağı simüle ederek yaklaşık 100.000 CAN mesajını toplamıştır. Saldırı verilerinin oluşturulması için de entropiye bağlı deneyler

gerçekleştirilmiştir. Ardından CAN verilerinin standartlaştırılması için SOEKS bilgi temsil yapısının bileşenleri olan değişkenler, kısıtlamalar, fonksiyonlar ve kurallar tanımlanmıştır. Ayrıca yapmış oldukları çalışmada belirli bir saldırı türüne odaklanmadıkları ve genel olarak kötü amaçlı saldırıları tespit etmeyi hedefledikleri belirtilmiştir.

Tariq vd. (2020) yapmış oldukları çalışma için KIA Soul ve Hyundai Sonata araçlarından iki farklı sürücüyle 24 saatten fazla sürüş gerçekleştirerek toplam 7.875.792 CAN paketi toplamıştır. Ayrıca belirlenen DoS, bulanık ve tekrar saldırıları için senaryolar tasarlanmış ve saldırı verileri oluşturulmuştur. Ardından önerilen IDS modeli için 11 öznitelik belirlenmiştir: Zaman farkı, CAN-ID, DLC ve veri alanındaki her bir baytın içerdiği bilgi. Seçilen zaman farkı özneliği, ağ üzerinden iletilen iki CAN paketi arasındaki zaman aralığını ifade edecek şekilde hesaplanmıştır. Ayrıca sekiz bayttan daha az veri içeren CAN paketleri için 0 ile doldurma (zero-padding) işlemi gerçekleştirilmiştir.

Song ve arkadaşları (2020) önerdikleri DCNN modeli için kendi veri kümelerini oluşturmuştur. Bunun için aracın OBD-II portu üzerinden araç içi ağa bağlanarak saldırısız CAN verileri toplanmıştır. Ardından saldırganın CAN veri yoluna erişimi ve mesaj yerleştirme saldırısı için bir veya daha fazla CAN düğümü üzerinde yetkiye sahip olduğu varsayımıyla hareket etmişler. Böylece belirlenen DoS, bulanık, RPM ve vites sahtecilik saldırıları için veri kümeleri oluşturulmuştur. Oluşturulan CAN verilerinin CAN 2.0B genişletilmiş veri çerçeve formatında olduğu ve dolayısıyla her CAN mesajının 29 bitlik CAN-ID bilgisi içerdiği belirtilmiştir. Önerilen DCNN tabanlı saldırı tespit modeli için sadece CAN-ID bilgisi öznitelik olarak seçilmiştir. Sıralı 29 CAN mesajından 29 bit ID bilgisi çıkarılarak oluşturulan 29x29'lük çerçeve DCNN sınıflandırıcısına girdi olarak verilmiştir.

Hanselmann vd. (2020), çalışmalarında diğer saldırı tespit sistemlerinden farklı olarak CAN paketlerini sinyal uzayında değerlendirmiş ve önerdikleri CANet'in aynı anda birden fazla CAN-ID sinyalleri üzerinde çalışabilme yeteneğine sahip olduğunu belirtmiştir. Bu kapsamda CAN paketlerinin sadece CAN-ID ve veri alanı ile ilgilenilmiştir. CANet saldırı tespit modeli beş farklı saldırı türünü içeren (Plato, sel, oynatma, sürekli değişim ve baskılama saldırıları) hem gerçek hem de sentetik veriler üzerinde değerlendirilmiştir.

Qin ve arkadaşları (2021), CAN veri yolundaki anormal davranışları tespit etmek için ikili ve onaltılı olmak üzere iki veri formatına (64-bit binary, 16-set hexadecimal) dayalı LSTM tabanlı IDS sistemi önermiştir. Önerilen model için CAN-ID ve veri alanları dikkate alınmış olup CAN veri yolunun mesaj akışındaki üç CAN-ID için ayrı ayrı saldırı tespiti gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kullanılan veriler gerçek bir araçtan elde edilmiş ve kurcalama saldırıları oluşturmak için kurallar (paket düşürme, tekrar etme ve içerik değiştirme) tanımlanmıştır.

Amato vd. (2021), NN ve MLP tabanlı IDS modelleri için herkesin erişimine açık olan ve dört farklı saldırı türünü (DoS, bulanık, vites ve RPM sahtecilik saldırıları) içeren veri kümelerini kullanmıştır. Önerilen yaklaşım için seçilen öznitelik vektörünün farklı saldırıları sınıflandırmak için yeterli bilgiye sahip olup olmadığını doğrulamaya yönelik deneyler oluşturulmuş ve bunun için tanımlayıcı analiz ve hipotez testi gibi istatistiksel yöntemlerden yararlanılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda CAN paketlerinin sekiz bayt olan veri alanlarının saldırı tespiti için

önemli olduğunu ve bu alanların baytlar şeklinde (F1-F8) ele alınması gerektiği belirtilmiştir.

Song ve Kim (2021), genellikle denetimli öğrenme tabanlı IDS modellerinin eğitim veri kümesine bağlı olduğunu ve bu sebeple de modelin bilinmeyen saldırı türlerini tespit edemediğini belirtmiştir. Bu problemin üstesinden gelmek için LSTM yöntemi ile gürültülü sözde normal veriler üretilmiştir. Bunlar, gerçek CAN verilerini taklit eden ancak eklenen gürültü ile normal verilerden sapmasını sağlayan veriler olarak tanımlanmıştır. Oluşturulan bu veriler saldırı olarak etiketlenmiş ve normal CAN verileri ile birlikte DCNN tabanlı IDS modelinin eğitim veri kümesini oluşturmaktadır. Eğitilen modelin saldırılar üzerindeki performansını değerlendirmek için ise (Amato vd., 2021) çalışmasında kullanılan ve dört farklı saldırı türünü içeren veri kümesi tercih edilmiştir.

### 4.3. S3: CAN-IDS'lerin Performans Değerlendirmesi ve Literatürdeki Diğer Çalışmalarla Karşılaştırılması

Hossain ve arkadaşları (2020), önermiş oldukları LSTM tabanlı CAN-IDS modelinin hem ikili hemde çoklu sınıflandırma performansını iki veri kümesi üzerinde değerlendirmiştir. Bunun için doğruluk (accuracy), F1 skor, duyarlılık (recall), yanlış pozitif oranı (False Positive Rate-FPR) ve yanlış negatif oranı (False Negative Rate-FNR) metriklerinden yararlanmıştır. Oluşturmuş oldukları veri kümesi üzerinde önerdikleri model ile ikili sınıflandırma gerçekleştirdiklerinde DoS ve sahtecilik saldırıları için %100, bulanık saldırılar için ise %99,98 doğruluk değeri elde edilmiştir. (Han vd., 2018) çalışmasındaki veri kümesi kullanıldığında ise her bir otomobil verisindeki üç saldırı türü için çoklu sınıflandırmada %99,7'nin ve ikili sınıflandırma da ortalama %99,87'nin üzerinde doğruluk değeri elde edilmiştir. Bunun yanı sıra her iki sınıflandırmada da bulanık saldırılar için %100 doğruluk değerine ulaşıldığı görülmüştür. Ardından önerilen modelin performansı, bu veri kümesi üzerinde gerçekleştirilen (Han vd., 2018) çalışmasındaki yöntem ile saldırı tespit oranı (detection rate) bakımından karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırma sonucunda önerilen LSTM tabanlı modelin daha yüksek saldırı tespit oranına ulaştığı görülmüştür.

Kang ve Kang (2016), saldırı tespiti için geliştirdikleri DNN tabanlı IDS modelinin performansını FNR, FPR ve doğruluk metrikleri ile değerlendirmiştir. Ayrıca modelin performansı, Yapay Sinir Ağları (Artificial Neural Networks-ANN) ve Destek Vektör Makinesi (Support Vector Machine-SVM) yöntemlerininle kıyaslanmıştır. Yapılan değerlendirmeler sonucunda önerilen modelin %97,8 doğruluk, %1,6 FPR ve %2,8 FNR değeri ile diğer yöntemlerden daha iyi performans gösterdiği görülmüştür.

Zhang vd. (2019), önermiş oldukları IDS modelinin performansını ortalama işlem zamanı, ROC eğrisi, FPR, doğru pozitif oranı (True Positive Rate-TPR) metrikleri bakımından literatürde yer alan (Bo vd., 2013) ve (Yan vd., 2014) çalışmalarını ile karşılaştırmıştır. Belirlenen bu dört metrik için de diğer iki çalışmaya üstünlük sağladığı ve TPR değerinin %98'e ulaşırken FPR'nin ise yaklaşık %1-2 civarında olduğu belirtilmiştir. Ayrıca önerdikleri GDM/AG algoritmasının GDM'ye göre daha hızlı yakınsama sağladığı ve milisaniye düzeyinde saldırıları tespit edebildiği ifade edilmiştir.

Gao ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada (2019), önerdikleri araç içi CAN-IDS modelinin performansını TPR, FPR, doğruluk ve ROC eğrisi metrikleri ile değerlendirmiştir. e-ISSN: 2148-2683

Ayrıca modelin performansı, saldırıları tespit etmek için pozitif ve negatif sapmaların ortalama değerini hesaplayan Naive yöntemininki ile karşılaştırılmıştır. Önerilen yöntemin %98'in üzerinde TPR ve yaklaşık %1-2 civarında FPR değeri ile Naive yönteminden daha üstün performans gösterdiği görülmüştür.

Tariq vd. (2020), CAN-ADF modelinin performansını değerlendirmek için F1 skor, doğruluk, duyarlılık ve kesinlik (precision) metriklerini kullanmıştır. Değerlendirmeyi gerçekleştirirken her bir araç için kural ve RNN tabanlı yaklaşımı hem ayrı ayrı hem de birlikte uygulamıştır. İki yöntemin birlikte uygulandığı durumda her iki araç için en yüksek F1 skor değerine (%99-%99,9) ulaşıldığı görülmüştür. Ayrıca önerilen kural+RNN tabanlı saldırı tespit yaklaşımının (Lee vd., 2017) çalışmasındaki OTIDS yöntemi ile karşılaştırılması yapılmış ve her iki araç için de OTIDS yönteminden oldukça başarılı olduğu görülmüştür.

Song ve arkadaşları (2020), CAN'e yapılan saldırıların tespiti için önerdikleri Inception-Resnet modelinin performansını FNR, hata oranı (Error Rate-ER), kesinlik, duyarlılık ve F1 skor metrikleri ile değerlendirmiştir. Modelin sınıflandırma sonuçları incelendiğinde her bir saldırı veri kümesi için %99'un üzerinde F1 skor, kesinlik, duyarlılık değerlerinin elde edildiği görülmüştür. Bulanık saldırıların daha karmaşık olmasından dolayı bu saldırı veri kümesindeki başarının diğerlerine oranla daha düşük olduğu belirtilmiştir. Ayrıca önerilen modelin performansı LSTM, ANN, SVM, k-en yakın komşu (KNN), Naive Bayes (NB), karar ağacı (DT) yöntemleri ile karşılaştırılmış ve DCNN modelinin bu yöntemlerin hepsinden daha başarılı olduğu görülmüştür.

Hanselmann vd. (2020), CANet modelinin performans açısından diğer yöntemlerle doğrudan karşılaştırma yapmanın mümkün olmadığını belirtmiş. Bu sebeple tahmine ve oto kodlayıcıya dayalı (predictive-autoencoder baseline) iki temel yaklaşımla ROC eğrisi altında kalan alan (AUC), doğruluk, TPR, TNR metrikleri aracılığıyla kıyaslama yapılmıştır. Modelin performansı değerlendirildiğinde %99'un üzerinde algılama doğruluğu elde edilmiş ve hem gerçek hem de sentetik veriler üzerinde diğer iki yaklaşımı da önemli bir farkla geride bıraktığı görülmüştür.

Qin ve arkadaşları (2021), önerdikleri modelin performansını F1 skor, duyarlılık, kesinlik, doğruluk ve AUC metrikleri ile değerlendirmiş fakat başka bir yöntemle karşılaştırma yapmayıp farklı araç üzerinde denemeler gerçekleştirmiştir. Belirlenen üç tipik saldırı senaryosu için %90'ın üzerinde doğruluk değeri elde edilmiştir. Önerilen model iki farklı araç üzerinde uygulandığında ise her iki araç için de %85'in üzerinde F1 skor değerinin elde edildiği belirtilmiştir.

Amato vd. (2021), CAN veri yoluna yönelik saldırıları tespit etmeye yönelik önerdikleri NN ve MLP yöntemleri ile hem ikili hem de çoklu sınıflandırma gerçekleştirmiştir. Bu sınıflandırmaların performansını değerlendirmek için ise duyarlılık, kesinlik, F skor ve ROC alanı metriklerinden yararlanılmıştır. İkili sınıflandırma sonuçları incelendiğinde her iki yöntemin de çok başarılı olduğu fakat MLP'nin NN'ye kıyasla daha başarılı sonuçlar verdiği görülmüştür. MLP'nin ikili sınıflandırmadaki bu başarısından dolayı çoklu sınıflandırmada, gizli katman sayısı 0-5 arasında değişen altı farklı MLP mimarisi ele alınmıştır. 1 ve 3 gizli katmana sahip MLP mimarisinin daha başarılı olduğu ve her iki durum için %96,5'ten daha yüksek kesinlik ile duyarlılık değerinin elde edildiği belirtilmiştir.

Song ve Kim (2021) önerdikleri IDS modelinin bilinmeyen saldırı türlerini sınıflandırmadaki başarısını ölçmek için eğitim veri kümesine ipucu verisi olarak ifade edilen RPM sahtecilik saldırı verilerini eklemiştir. Modelin eğitilmesinde ipucu verileri ile birlikte gürültülü sözde normal verilerin kullanılmasının modelin performansını önemli ölçüde arttırdığı belirtilmiştir. Önerilen model SVM, derin otokodlayıcı (Deep autoencoder-DAE) ve denetimsiz öğrenmeye dayalı SOMK-D yöntemleri ile duyarlılık, kesinlik, F1 skor ve doğruluk metrikleri üzerinden karşılaştırılmıştır. Önerilen yöntem ile eğitilen DCNN modelinin 0,9537 doğruluk ve 0,9451 F1 skor değerleri ile en iyi algılama performansı gösterdiği belirtilmiştir. Ayrıca bu modelin hem bilinen hem de bilinmeyen saldırı türleri için oldukça başarılı olduğu ve diğer yarı denetimli öğrenme tabanlı modellerden daha üstün performans gösterdiği belirtilmiştir. Buna ek olarak, patlayan gradyan probleminin üstesinden gelmek için sunulan gradyan kırma işleminin de model performansı üzerinde olumlu bir etki gösterdiği ifade edilmiştir.

İncelenen çalışmalar, araştırma soruları kapsamında, kullanılan derin öğrenme yöntemi, seçilen öznelik, odaklanılan saldırı türleri, performans metrikleri ve başka bir yöntemle performans karşılaştırmasının yapıp yapılmadığı bakımından Tablo 4'te özetlenmiştir. Ayrıca çalışmalarda belirlenen performans metrikleri için elde edilen değerler Tablo 5'te verilmiştir. Hanselmann vd. (2020), önerdikleri saldırı tespit modeli ile baskılama saldırılarında düşük TPR değeri elde ettiklerinden tabloya eklenmemiştir.

## 5. Sonuç ve Öneriler

Araç içi ağların güvenliği arttırmak için araştırmacılar tarafından şifreleme, kimlik denetimi ve saldırı tespit sistemlerine yönelik çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada araç içi ağ iletişim protokollerinden en yaygın kullanılan CAN'in güvenliğinin sağlanması için derin öğrenme tabanlı IDS'ler üzerine odaklanılmıştır. Bunun için IEEE Xplore, Scopus, Web of Science, Science Direct ve Google Scholar olmak üzere beş veritabanı üzerinde literatür taraması gerçekleştirilerek bu sistematik derleme kapsamında incelenmiş 10 çalışma belirlenmiştir. Seçilen çalışmalar kullanılan yöntem, veri kümesi, öznelik seçimi, performans metrikleri ve karşılaştırılan yöntem bakımından detaylı bir şekilde incelenmiştir. Bu incelemeler sonucunda:

- Araç içi CAN-IDS modellerinde derin öğrenme yöntemlerinden LSTM'in sıklıkla tercih edildiği görülmüştür. Bunun sebebi olarak ise CAN'den toplanan verilerin zaman serisi olarak ele alınabildiği ve LSTM'in de zaman serisi verilerinde başarılı bir şekilde uygulandığı gösterilebilir.
- Çalışmalarda genellikle gerçek bir araç üzerinden CAN verileri toplanarak veri kümesi oluşturulmakla birlikte sentetik veri kümelerinin de kullanıldığı görülmüştür.
- Önerilen IDS modelleri için öznelik olarak CAN-ID ve veri alanlarının sıklıkla tercih edildiği dikkat çekmiştir. Bunun sebebi olarak ise bu alanların saldırı tespiti için belirleyiciliğin daha yüksek olduğu ifade edilebilir.
- İncelenen çalışmaların çoğu DoS, sahtecilik, bulanık gibi belirli saldırı türleri üzerine odaklanırken bazıları ise genel saldırı türlerine yoğunlaşmıştır.

- Çalışmalarda önerilen IDS modellerinin performansının değerlendirilmesinde ise sınıflandırma problemlerinde sıklıkla kullanılan doğruluk, duyarlılık, kesinlik, ROC eğrisi, TPR ve FPR metriklerinden yararlanılmıştır.
- İncelenen çalışmaların çoğunda önerilen yöntemler başka yöntemler ile kıyaslanmış olup karşılaştıran yöntemle oranla saldırı tespitinde daha üstün performans sergiledikleri belirtilmiştir.

Ayrıca, incelenen çalışmalar doğrultusunda, önerilen CAN-IDS sistemlerinin genellikle iki alanda farklılaştığı görülmüştür:

- Veri ön işleme: Genellikle gerçek araçlar üzerinden toplanan CAN verilerinin saldırı tespit sistemi için uygun formata getirilmesi ve saldırıların tespitinde hangi özneliklerin seçileceğinin belirlenmesi konusunda farklılaşma sağlanmıştır. Bu kapsamda, CAN verilerinin sinyal uzayında değerlendirilmesi, verilerin standartlaştırılmasını sağlamak için SOEKS bilgi temsil yapısının kullanılması, özneliklerin belirlenmesi için veriler üzerinde istatistiksel analizlerin gerçekleştirilmesi gibi konular üzerine odaklanılmıştır.
- Saldırı tespiti: Buradaki farklılaşma, saldırıların tespit edilmesi için yöntemin doğrudan uygulanması yerine bu yöntem üzerinde çeşitli hiperparametre denemeleri ile daha başarılı bir modelin oluşturulması veya diğer çalışmalardan farklı bir yöntemin önerilmesi gibi durumları içermektedir.

Bu kapsamda derleme için seçilen çalışmaların bu alanlardan hangisine odaklanarak diğerlerinden farklılaşmanın sağlandığı Tablo 6'da verilmiştir.

Yapılan değerlendirmeler ışığında aşağıda belirtilen konularda açık problemlerin olduğu belirlenmiştir:

- Açık veri kümelerinin eksikliği
- Öznelik seçiminin farklılaştırılması
- Gerçek zamanlı ve açık kaynak kodlu saldırı tespit sistemlerinin eksikliği
- Kriptografik protokollerin güvenlik analizi ve bunu iyileştirmeye yönelik çalışmalar
- Önerilen IDS'lerin bilinmeyen saldırı türlerini tespit edememesi
- Çalışmalarda simülasyon ortamının sıklıkla kullanılması
- Derin öğrenme yöntemlerinin farklılaştırılması



Tablo 4. İncelenen Araç İçi CAN-IDS Çalışmalarının Özetlenmesi

Çalışma	Yöntem	Öznitelik	Saldırı Türü	Performans Metriği	Karşılaştırılan Yöntem
<i>Song ve Kim (2021)</i>	DCNN	CAN-ID	DoS Bulanık Sahtecilik	Doğruluk F1 skor Duyarlılık Kesinlik	SVM DAE SOMK-D
<i>Hossain vd. (2020)</i>	LSTM	CAN-ID DLC Veri alanı	DoS Bulanık Sahtecilik	Doğruluk F1 skor FPR, FNR Duyarlılık	[30]
<i>Kang ve Kang (2016)</i>	DNN	Veri alanı	Genel	Doğruluk FPR, FNR	SVM ANN
<i>Zhang vd. (2019)</i>	DNN	Zaman damgası CAN-ID Veri alanı	Sahtecilik Tekrar	TPR, FPR Doğruluk ROC eğrisi	[31] [32]
<i>Gao vd. (2019)</i>	Net belirtilmemiş	Net belirtilmemiş	Genel	Doğruluk TPR, FPR ROC eğrisi	Naive
<i>Tariq vd. (2020)</i>	LSTM ve kural tabanlı yaklaşım	Zaman farkı CAN-ID DLC Veri alanı	DoS Bulanık Tekrar	Doğruluk F1 skor Duyarlılık Kesinlik	OTIDS [33]
<i>Song vd. (2020)</i>	DCNN	CAN-ID	DoS Bulanık Sahtecilik	F1 skor FNR, ER Duyarlılık Kesinlik	LSTM SVM ANN KNN DT Naive Bayes
<i>Hanselmann vd. (2020)</i>	LSTM ve AE	CAN-ID Veri alanı	Plato Sel Oynatma Sürekli değişim Baskılama	Doğruluk AUC TPR, TNR	Tahmine ve otokodlayıcıya dayalı yöntemler
<i>Qin vd. (2021)</i>	LSTM	CAN-ID Veri alanı	DoS Bulanık Sahtecilik	F skor AUC Duyarlılık Kesinlik	Karşılaştırma yapılmamış
<i>Amato vd. (2021)</i>	NN ve MLP	Veri alanı	DoS Bulanık Sahtecilik	F skor AUC Duyarlılık Kesinlik	Karşılaştırma yapılmamış

Tablo 5. İncelenen Araç İçi CAN-IDS Çalışmalarının Performans Metrikleri

Performans Metrikleri	Song ve Kim (2021)	Hossain vd. (2020)	Kang ve Kang (2016)	Zhang vd. (2019)	Gao vd. (2019)	Tariq vd. (2020)	Song vd. (2020)	Hanselmann vd. (2020)	Qin vd. (2021)	Amato vd. (2021)
Doğruluk	%95,37	≥%99,7	≈%97,8	≈%98	%98	%99,45	-	≥ %99	≥ %99	-
Kesinlik	0,9671	-	-	-	-	≥ 0,97	≥ 0,99	-	≥ 0,994	≥ 0,819
Duyarlılık	0,9262	≥ 0,9792	-	-	-	≥ 0,93	≥ 0,99	-	≥ 0,791	≥ 0,902
F1 skor	0,9451	≥ 0,9696	-	-	-	≥ 0,95	≥ 0,99	-	≥ 0,881	-
F skor	-	-	-	-	-	-	-	-	-	≥ 0,858
AUC	-	-	-	-	-	-	-	≥ 0,743	≥ 0,868	≥ 0,984
FNR	-	≤0,0208	≈%2,8	-	-	-	≤%0,35	-	-	-
TNR	-	-	-	-	-	-	-	≥ 0,911	-	-
FPR	-	≤0,0034	≈%1,6	≈%1-2	≈%1-2	-	-	-	-	-
TPR	-	-	-	≈%98	>%98	-	-	-	-	-
ER	-	-	-	-	-	-	≤%0,18	-	-	-

Tablo 6. Çalışmaların Odaklandığı Alanlar

Çalışma	Veri Önileme	Saldırı Tespiti
Song ve Kim (2021)	✓	
Hossain vd. (2020)		✓
Kang ve Kang (2016)	✓	
Zhang vd. (2019)		✓
Gao vd. (2019)	✓	
Tariq vd. (2020)		✓
Song vd. (2020)		✓
Hanselmann vd. (2020)		✓
Qin vd. (2021)	✓	
Amato vd. (2021)	✓	

## Kaynakça

Al-Jarrah, O. Y., Maple, C., Dianati, M., Oxtoby, D., & Mouzakitis, A. (2019). Intrusion detection systems for intra-vehicle networks: A review. *IEEE Access*, 7, 21266-21289.

Aliwa, E., Rana, O., Perera, C., & Burnap, P. (2021). Cyberattacks and countermeasures for in-vehicle networks. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 54(1), 1-37.

Amato, F., Coppolino, L., Mercaldo, F., Moscato, F., Nardone, R., & Santone, A. (2021). CAN-Bus Attack Detection With Deep Learning. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*.

Baki, S., & Tutkun, N. (2021). Otomotiv haberleşmesinde denetleyici alan ağı için hibrit bir saldırı savuşturma uygulaması. *Anadolu Bil Meslek Yüksekokulu Dergisi*, 16(61), 51-72.

Bosch, R. (Ed.). (2014). *Bosch automotive electrics and automotive electronics: systems and components, networking and hybrid drive*. Springer Vieweg.

Bozdal, M., Samie, M., Aslam, S., & Jennions, I. (2020). Evaluation of can bus security challenges. *Sensors*, 20(8), 2364.

Çalışır, S., Atay, R., Pehlivanoğlu, M. K., & Duru, N. (2019). Intrusion detection using machine learning and deep learning techniques. In *2019 4th International Conference on Computer Science and Engineering (UBMK)*, 656-660. IEEE.

Gao, L., Li, F., Xu, X., & Liu, Y. (2019). Intrusion detection system using SOEKS and deep learning for in-vehicle security. *Cluster Computing*, 22(6), 14721-14729.

Han, M. L., Kwak, B. I., & Kim, H. K. (2018). Anomaly intrusion detection method for vehicular networks based on survival analysis. *Vehicular communications*, 14, 52-63.

Hanselmann, M., Strauss, T., Dormann, K., & Ulmer, H. (2020). CANet: An unsupervised intrusion detection system for high dimensional CAN bus data. *IEEE Access*, 8, 58194-58205.

Hira, E. (2017). *Automotive Electronic Control Unit (ECU) Market Size Share*, Allied Market Research. Available online: <https://www.alliedmarketresearch.com/automotive-electronic-control-unit-ecu-market> (accessed on 24 May 2021).

Hossain, M. D., Inoue, H., Ochiai, H., Fall, D., & Kadobayashi, Y. (2020). LSTM-based intrusion detection system for in-vehicle can bus communications. *IEEE Access*, 8, 185489-185502.

Hu, Q., & Luo, F. (2018). Review of secure communication approaches for in-vehicle network. *International Journal of Automotive Technology*, 19(5), 879-894.

Kaiwartya, O., Abdullah, A. H., Cao, Y., Altameem, A., Prasad, M., Lin, C. T., & Liu, X. (2016). Internet of vehicles: Motivation, layered architecture, network model, challenges, and future aspects. *IEEE Access*, 4, 5356-5373.

Kalkan, S. C., & Sahingoz, O. K. (2020). In-Vehicle Intrusion Detection System on Controller Area Network with Machine Learning Models. In *2020 11th International Conference on Computing, Communication and Networking Technologies (ICCCNT)*, 1-6. IEEE.

Kang, M. J., & Kang, J. W. (2016). Intrusion detection system using deep neural network for in-vehicle network security. *PLoS one*, 11(6), e0155781.

- Khatri, N., Shrestha, R., & Nam, S. Y. (2021). Security Issues with In-Vehicle Networks, and Enhanced Countermeasures Based on Blockchain. *Electronics*, 10(8), 893.
- Lee, H., Jeong, S. H., & Kim, H. K. (2017, August). OTIDS: A novel intrusion detection system for in-vehicle network by using remote frame. In 2017 15th Annual Conference on Privacy, Security and Trust (PST) (pp. 57-5709). IEEE.
- Liu, J., Zhang, S., Sun, W., & Shi, Y. (2017). In-vehicle network attacks and countermeasures: Challenges and future directions. *IEEE Network*, 31(5), 50-58.
- Lokman, S. F., Othman, A. T., & Abu-Bakar, M. H. (2019). Intrusion detection system for automotive Controller Area Network (CAN) bus system: a review. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, 2019(1), 1-17.
- Miller, C. (2019). Lessons learned from hacking a car. *IEEE Design & Test*, 36(6), 7-9.
- Pan, L., Zheng, X., Chen, H. X., Luan, T., Bootwala, H., & Batten, L. (2017). Cyber security attacks to modern vehicular systems. *Journal of information security and applications*, 36, 90-100.
- Qin, H., Yan, M., & Ji, H. (2021). Application of Controller Area Network (CAN) bus anomaly detection based on time series prediction. *Vehicular Communications*, 27, 100291.
- Sharma, N., Chauhan, N., & Chand, N. (2018, December). Security challenges in Internet of Vehicles (IoV) environment. In 2018 First International Conference on Secure Cyber Computing and Communication (ICSCCC) (pp. 203-207). IEEE.
- Song, H. M., & Kim, H. K. (2021). Self-Supervised Anomaly Detection for In-Vehicle Network Using Noised Pseudo Normal Data. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 70(2), 1098-1108.
- Song, H. M., Woo, J., & Kim, H. K. (2020). In-vehicle network intrusion detection using deep convolutional neural network. *Vehicular Communications*, 21, 100198.
- Sun, J., Iqbal, S., Arabi, N. S., & Zulkernine, M. (2020). A classification of attacks to in-vehicle components (IVCs). *Vehicular Communications*, 25, 100253.
- Tariq, S., Lee, S., Kim, H. K., & Woo, S. S. (2020). CAN-ADF: The controller area network attack detection framework. *Computers & Security*, 94, 101857.
- Wang, L., & Liu, X. (2018). NOTSA: Novel OBU with three-level security architecture for internet of vehicles. *IEEE Internet of Things Journal*, 5(5), 3548-3558.
- Wu, W., Li, R., Xie, G., An, J., Bai, Y., Zhou, J., & Li, K. (2019). A survey of intrusion detection for in-vehicle networks. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 21(3), 919-933.
- Yan, S., Malaney, R., Nevat, I., & Peters, G. W. (2014). Optimal information-theoretic wireless location verification. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 63(7), 3410-3422.
- Young, C., Zambreno, J., Olufowobi, H., & Bloom, G. (2019). Survey of automotive controller area network intrusion detection systems. *IEEE Design & Test*, 36(6), 48-55.
- Yu, B., Xu, C. Z., & Xiao, B. (2013). Detecting sybil attacks in VANETs. *Journal of Parallel and Distributed Computing*, 73(6), 746-756.
- Zhang, J., Li, F., Zhang, H., Li, R., & Li, Y. (2019). Intrusion detection system using deep learning for in-vehicle security. *Ad Hoc Networks*, 95, 101974.



# Duygu Analizi İçin Yeni Bir Sözlük; NAYALex Duygu Sözlüğü

Yakup Atlı<sup>1\*</sup>, Nagehan İlhan<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup>Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Şanlıurfa, Türkiye (ORCID: 0000-0002-8980-7243), [yakupatli@gmail.com](mailto:yakupatli@gmail.com)  
<sup>2</sup>Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Şanlıurfa, Türkiye (ORCID: 0000-0002-1367-9230), [nagehanilhan@harran.edu.tr](mailto:nagehanilhan@harran.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 27 Temmuz 2021 ve Kabul Tarihi 10 Kasım 2021)

(DOI:10.31590/ejosat.974886)

**ATIF/REFERENCE:** Atlı, Y. & İlhan, N. (2021). Duygu Analizi İçin Yeni Bir Sözlük; NAYALex Duygu Sözlüğü. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (27), 1050-1060.

## Öz

İletişimin ayrılmaz parçası olan duygular, farklı şekillerde (konuşma, jestler, yüz ifadeleri vb.) ortaya çıkmaktadır. Sosyal paylaşım platformlarında ise insanlar duygu ve düşüncelerini en çok metinsel paylaşımlar ile ifade etmektedir. İnsanların sosyal medya aracılığı ile paylaştığı metinler kişilerin duygu durumları hakkında fikir vermektedir. Kişilik tespitinde duyguların sıklığının kişilik özellikleri ile ilişkili olduğunu gösteren birçok çalışma yapılmıştır. Dolayısıyla, sosyal medyada paylaşılan mesajlarda saklı olan duyguların tespiti ve ortaya çıkarılması önemlidir. Metinlerde saklı olan duygular kelime-duygu sözlükleriyle ortaya çıkarılabilmektedir. Bu sözlüklere baktığımızda en fazla sayıda duygu çıkarımı yapabilen NRC Duygu Sözlüğü, olumlu-olumsuz ile birlikte 8 farklı duyguyu ortaya çıkarabilmektedir. Ancak metin aracılığı ile duygularını yansıtan kişilerin duygularını, olumlu-olumsuz veya birkaç farklı duygu ile sınırlı tutmak çoğu zaman kişilik tespitinde yetersiz kalmaktadır. Bu çalışmada, paylaşılan metinlerden daha fazla duygu yakalamak için metinden olumlu-olumsuz ile birlikte (umut, kaygı, sevgi, karamsarlık, iyimserlik, öfke, korku, üzüntü vb.) 38 farklı duygu çıkarımı yapan NAYALex sözlüğü önerilmektedir. NRC Duygu Sözlüğüne ve Plutchik'in Temel Duyguların Psikoevrimsel Teorisine dayandırdığımız sözlüğümüzün her bir kelimesi 38 farklı duygudan en az biri ile ilişkilendirilmiş 6469 İngilizce kelimedenden oluşmaktadır. Instagram kullanıcı paylaşımlarına ait 10000 farklı paylaşımdan oluşan veri setimiz üzerinde birtakım deneyler yaparak, NAYALex sözlüğümüzün uygulanabilirliği ve kullanılabilirliği gösterilmiştir. Diğer (LIWC, EmoSenticNet, NRC, Empath) duygu sözlükleriyle karşılaştırıldığında, sözlüğümüz Tiffany'nin belirttiği 154 duygu için %24,7 ile en kapsamlı duyguyu tespit edebilir.

**Anahtar Kelimeler:** NRC, NAYALex, Duygu Analizi, Duygu Sözlüğü, Plutchik.

## A New Dictionary For Sentiment Analysis; NAYALex Emotion Dictionary

### Abstract

Emotions, which are an integral part of communication, emerge in different ways (speech, gestures, facial expressions, etc.). On social sharing platforms, people express their feelings and thoughts mostly with textual shares. Textual sharings of people through social media give an idea about their emotional state. Many studies have been carried out showing that the frequency of emotions in personality inference is related to personality traits. Therefore, it is important to detect and reveal the emotions hidden in the messages shared on social media. Emotions are hidden in textual posts that people share via social media. It is crucial to detect and reveal the emotions hidden in the messages shared on social media. When we look at these lexicons, the NRC Emotion Lexicon, which can detect the greatest number of emotions, can reveal 8 different emotions in total, positive and negative. However, limiting the emotions of people who reflect their feelings through text to positive-negative or a few different emotions is often insufficient in personality determination. In this study, the NAYALex lexicon that can detect 38 different emotions (hope, anxiety, love, pessimism, optimism, anger, fear, sadness, etc.) from texts is proposed to recognize more emotions from shared texts. NRC Emotion Lexicon and each word of our lexicon, which we base on Plutchik's Psychoevolutionary Theory of emotions, consists of 6469 English words associated with at least one of 38 different emotions. The applicability and usability of our NAYALex Lexicon is demonstrated by conducting some experiments on our data set consisting of 10000 different posts belonging to Instagram users. Compared to other (LIWC, EmoSenticNet, NRC, Empath) emotion lexicons, our lexicon can detect the highest comprehensive emotion with 24.7% for the 154 emotions Tiffany stated.

**Keywords:** NRC, NAYALex, Emotion Analysis, Emotion Lexicon, Plutchik.

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

## 1. Giriş

İnternet kullanımının artmasıyla, insanlar arasındaki sanal iletişim ve etkileşim büyük artış göstermiştir. Bu artış beraberinde günümüzde popüler olan sosyal ağların ortaya çıkmasının temelini oluşturmaktadır. Dijital kullanımın artması ve buna paralel olarak sosyal medya kullanımının artması, sosyal medyayı araştırma noktası haline getirmiştir. Sosyal medya kullanıcıları Facebook, Youtube, Instagram, Twitter, Google+ gibi birçok sosyal medya platformları aracılığı ile kişiliklerine ait duyguları barındıran paylaşımlar yapmaktadırlar. Bu durum sosyal medya platformlarını kullanan kişileri yakından takip eden işletme ve araştırma kuruluşlarının duyguların tespitine yönelmelerine sebep olmuştur. İşletme ve kuruluşlar sosyal medyada kullanıcılarının kişiliklerini dikkate alarak farklı strateji ve uygulamalar geliştirmektedirler. Sosyal medyada insanın zevklerini, fikirlerini veya duygularını barındıran birçok paylaşım yapmaktadır. Sosyal medya, kullanıcıların duygularını yansıtan paylaşımlarıyla yararlı ve önemli bir büyük veri kaynağı haline gelmiştir (Hidalgo vd., 2015).

Yaşamımız üzerinde etkisi yadsınamayacak kadar önemli olan kişilik, geleneksel yöntem olan anketler ile belirlenmektedir. Kişiliğin, anketler yerine kişinin duygularını ve fikirlerini serbestçe ifade ettiği metinlerden ortaya çıkarılması daha çok tercih edilen bir durumdur. Duygu ve davranışlarla ortaya çıkan kişilik, biyolojik ve çevresel faktörlerden etkilenir. Kişiliğin duygularla ilişkili olduğunu ve bazı duygulara karşılık gelen sözcük gruplarının kişilikle ilişkili olduğu gösterilmiştir (Mohammad&Kiritchenko, 2013).

Sosyal medya paylaşımlarındaki duyguları ortaya çıkarmak önemini korumakla birlikte, doğal dil işlemedeki belirsizlik ve karmaşıklık bu alandaki çalışmaları zorlaştırmaktadır (Hussein, 2018). Son zamanlarda kişilerin sosyal medyadaki paylaşımlarını dikkate alarak duyguları tespit etmeye yönelik birçok çalışma yapılmıştır. Literatürde sadece olumlu-olumsuz duygulara dayandırılan çalışmalar (örneğin, Alarid, 2016; Kuşen vd., 2017; Woolf, 2016) daha fazla iken, bireysel duyguları (üzüntü, öfke, neşe) tanımlayan çok az çalışma yapılmıştır.

Duygular, kişilik ile ilişkilidir ve kişilik tespitinde önemli yere sahiptirler. Kişilik tespitine yönelik yapılan çalışmalarda, duygular olumlu-olumsuz olarak ele alınmakta ve sınırlı sayıda duygu ile yapılan çalışmalar analiz için yetersiz kalmaktadır. NRC (Mohammad, 2016), EmosenticNet (Poria vd., 2012), DepecheMood (Staiano&Guerini, 2014), LIWC (Pennebaker vd., 2001) ve Empath (Fast vd., 2016) gibi sözlükler bu alanda kullanılan duygu sözlükleridir.

Duyguların sabit olmayan davranışlarla ortaya çıkması, insan kişiliği üzerinde etkisi olan duyguların belirlenmesini zorlaştırmıştır. Duyguların kişiliği belirlemedeki etkisi, duyguların doğru belirlenmesini zorunlu kılmaktadır. Sosyal medya kullanıcıları, duygularını paylaştıkları metinlere yansıtmakta ve metinler üzerinde yapılan çalışmalar için geniş veri havuzları sunmaktadır. Ortaya çıkan duyguların, metinselverilerden çıkarılması duygu sözlükleri ile yapılabilmektedir. NRC (Mohammad, NRC Word-EmotionAssociationLexicon), EmosenticNet (Poria vd., 2012), DepecheMood (Staiano ve Guerini, 2014), LIWC (Pennebaker vd., 2001) ve Empath (Fast et al., 2016) gibi duygu sınıflandırması için kullanılan sözlüklerin dezavantajı, anahtar kelimelere atanan duygu ifadelerinin sınırlı sayıda duyguyu

kapsamasıdır. Sınırlı sayıdaki duygu çıkarımı, kişiliğin belirlenmesi üzerinde olumsuz etki göstermektedir.

Ayrık duygu teorisine göre, insanların doğuştan gelen bir dizi temel duyguya sahip olduğu düşünülmektedir (Colombetti, 2009). 1980'de Robert Plutchik, On Postulates'ten esinlenerek sekiz duygudan (neşe, güven, korku, şaşkınlık, üzüntü, tiksinti, öfke ve beklenti) oluşan bir duygu çarkı çizdi (Plutchik, 1980; Plutchik, 2001). Plutchik ayrıca iki duygudan oluşan ve "Birincil", "İkincil" ve "Üçüncül" ikililerden ve zıt duygulardan oluşan yirmisekiz farklı duyguyu ele alan temel duyguların psikoevrimsel teorisini ortaya attı (Drews&Krohn, 2007). TiffanyWatt Smith dünya çapında 154 farklı duygu olduğunu belirtmiştir (Medhat vd., 2014).

Tiffany'nin belirttiği 154 farklı duygunun varlığı, sınırlı sayıda duygu çıkarımı yapan sözlüklerin duygu analizleri için sınırlı olabileceğini ve daha fazla duygu çıkarımı yapabilen sözlüklere ihtiyaç duyulduğunu ortaya koymaktadır (Medhat vd., 2014).

Duygu analizi için kullanılan önceki sözlüklerden, NRC sekiz (Trust, Anticipation, Disgust, Joy, Fear, Surprise, Anger, Sadness), EmosenticNet altı (Disgust, Joy, Fear, Surprise, Anger, Sadness), LIWC dört (Positive, Negative, Sadness, Anger), Empath altı (Joy, Fear, Surprise, Anger, Sadness, Love) farklı duygu için sınıflandırma yapmaktadır.

Bu çalışmada, yaygın olarak kullanılan (NRC(Mohammad, 2016), EmosenticNet(Poria vd., 2012), DepecheMood(Staiano&Guerini, 2014), LIWC(Pennebaker vd., 2001) ve Empath (Fast vd., 2016)) duygu sözlüklerinin ortaya çıkardığı duyguları kapsayan ve olumlu-olumsuz ile birlikte 38 farklı duygu sınıflandırması yapan NAYALex Duygu Sözlüğü önerilmektedir. NRC Duygu Sözlüğü ve Plutchik'in Temel Duyguların Psikoevrimsel Teorisine (Drews&Krohn, 2007) dayandırdığımız NAYALex'teki her bir kelime 38 farklı duygu ile ilişkilendirilmiştir.

NAYALex sözlüğümüz ile Tiffany'nin belirttiği 154 farklı duygunun 38 farklı duygusu için çıkarım yapılabilir. Bu çalışmada, kişiliğin belirlenmesinde büyük öneme sahip olan duygu sınıflandırmalarının literatürde 4 duygu(LIWC), 6 duygu(EmosenticNet, Empath) ve 8 duygu(NRC) gibi kısıtlı sayıda duygu çıkarımı yapan sözlüklerden kaynaklanan dezavantajın ortadan kaldırılması hedeflenmiş ve bunun için 38 farklı duygu için sınıflandırma yapabilen NAYALex sözlüğü oluşturulmuştur.

Bu çalışma sonucunda, sözlük tabanlı duygu sınıflandırması için doğrudan 38 farklı duyguyu ortaya çıkarabilen ilk en kapsamlı sözlük oluşturulmuş ve test edilmiştir.

Çalışmanın geri kalanı aşağıdaki gibi yapılandırılmıştır. Bölüm II'de ilgili çalışmalardan bahsedilmiştir. Bölüm III'te sözlüğün oluşturulması ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Bölüm IV'te deneysel çalışmalar gösterilmiş ve sonuçları analiz edilmiştir. Bölüm V'de sonuçlar ve gelecekteki çalışmalar verilmiştir.

## 2. LiteratürTaraması

Duygu analizi, bireylerin metinler aracılığı ile yansıttığı duygularının belirli yordamlarla davranış, görüş, tutum ve duyguların istatistiksel yöntemlere göre gerçekleştirilen hesaplamalı analizlerdir (Medhat vd., 2014; Pang& Lee, 2009). Bir kişinin üzerinde yorum yaptığı faktörler kişiler, konular,

nesnelere veya varlıklar olabilir. Duygu analizi ile herhangi bir kişi, konu, nesne veya varlık üzerinde görüş belirten kişinin duygusal durumunu tespit etmek amaçlanır (Cambria vd., 2013). Duygu analizi ile tutumların, değerlendirmelerin, görüşlerin, hislerin ve duyguların metinsel ifadelerden çıkarılması doğal dil işleme en önemli konularından biridir.

Etkileşimde etkili olan ve duyguların yansıdığı metinlerin yanında temel araçlardan biri de konuşmadır. Derin öğrenme modelleri kullanılarak tanıma sorunlarına çözümler üretilmektedir (Mittal vd., 2018; Bae vd., 2016; Malik vd., 2020). Konuşma duygularının ortaya çıkarılması ve sınıflandırılması için yapılan araştırmalar giderek ilgi görmeye başlamıştır. İnsanların akıllı sistemler ile etkileşimlerinin artması ve akıllı sistemlerin de veri işleme hızlarının ve performanslarının artmasıyla duyguların ortaya çıkarılmasında ilgiyi bu alana yöneltmiştir.

Konuşma duygularının ortaya çıkarılması için uygulanan geleneksel yöntemlerde konuşmanın akustik içeriği ile ilgili özellikler çıkarılmaktadır. Makine öğrenme teknikleri ve önceden belirlenmiş duygu etiketleri kullanılarak öznelikleri çıkarılmış konuşma duyguları sınıflandırılabilir. İnsan-bilgisayar etkileşimi sonucunda konuşmadan duygu tanıma probleminde sınıflandırma doğruluğunu arttırmak için yeni bir hibrit mimari önermişlerdir (Er, 2020). Önerilen tekniğin konuşma duygularının doğru ve verimli bir şekilde sınıflandırılabilindiğini yapılan deneyler ile açık bir şekilde göstermişlerdir.

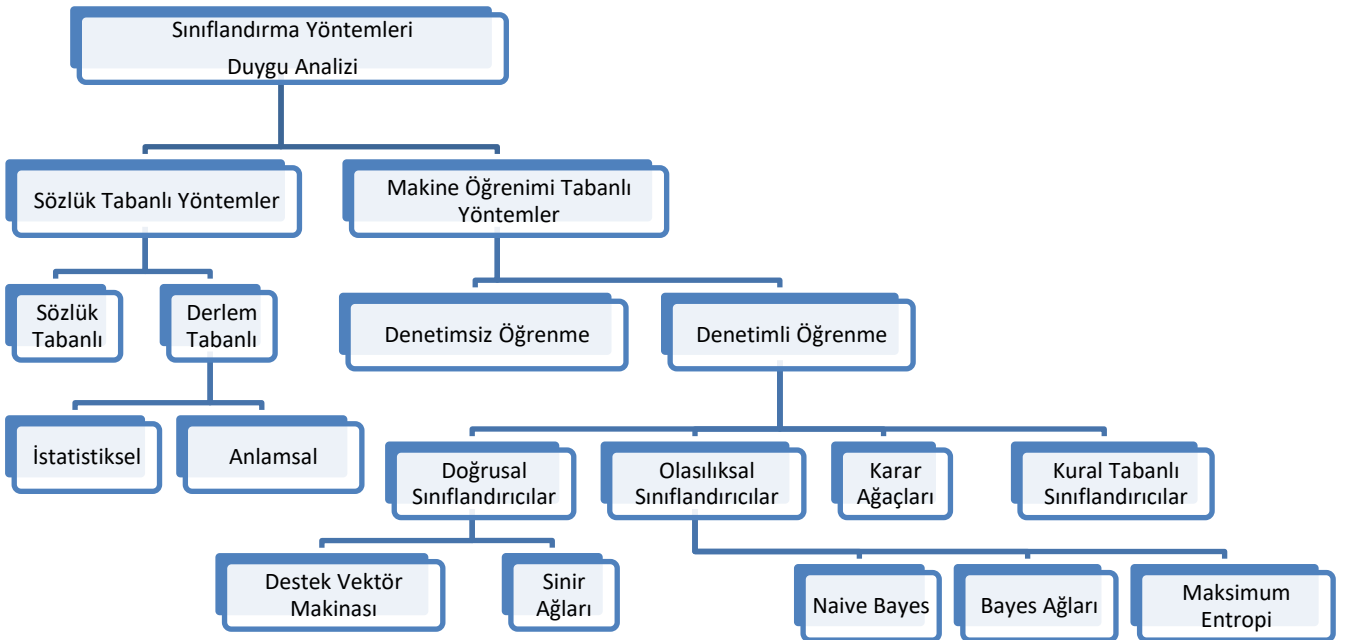
Öznel bir olgu olan duygular, boyutsal ve kategorik olmak üzere iki grupta ele alınmaktadır. Kategorik modellerde tek kelime ya da kelime grupları kullanılarak duygular tanımlanırken, iki boyutlu modellerde uyarılma değerleri ve değerlilik ölçüleri ele alınmaktadır (Alarcao&Fonseca, 2017;

Lang, 1995). Farklı önerilerde bulunan psikologlar ve bilim insanları duyguları öfke, korku, iğrenme, üzülmeye, mutluluk ve neşe olarak 6 temel sınıf olacak şekilde ayırmışlardır (Picard, 2000).

Müziğin dinleyicileri üzerinde etkisi olduğu ve duyguları ortaya çıkarmada etkili olduğu kabul görmektedir. Dinleme esnasında beyinde oluşan elektriksel sinyallerin duyguların ortaya çıkarılmasında daha gerçekçi sonuçlar ortaya koyduğu ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Müzik parçalarının dinlenmesi ile ortaya çıkan duyguların sınıflandırılması ve tanınması problemini ele almışlardır (Er&Çiğ, 2020). Bunun için Türk müziği parçalarını katılımcılara dinleterek ve bunun sonucunda katılımcıların beyinlerinde oluşan sinyalleri inceleyerek rahatlatıcı, gergin, hüzünlü ve mutlu duygularını tanımaya çalışmışlardır. Makine öğrenme algoritmaları kullanılarak sınıflandırmalar yapılmış ve elde edilen doğruluk oranları kullanılan yöntemlerinin performansını olumlu yönde etkilediği gözlemlenmiştir.

Duygu sınıflandırması, duygu analizinin en önemli adımıdır ve son yıllarda en fazla ilgi gören çalışma alanlarından biri olmuştur (Lin vd., 2014).

Duygu sınıflandırması, belge (Yessenalina vd., 2010), cümle (Pang vd., 2002) ve kelime (Breck vd., 2007) düzeyinde gerçekleştirilebilir. Duygu sınıflandırması için genellikle farklı yöntemler kullanılmaktadır. Duygu analizinde sözlüğe dayalı, makine öğrenmesine dayalı ve hibrit olmak üzere farklı yöntemler ele alınmaktadır (Medhat vd., 2014). Duygu analizinde kullanılan algoritmalar ve sınıflandırma yöntemleri Şekil-1'deki gibi gösterilmiştir (Medhat vd., 2014; Ravi&Ravi, 2015).



Şekil 1. Duygu analizinde kullanılan algoritmalar ve sınıflandırma yöntemleri (Medhat vd., 2014; Ravi&Ravi, 2015).

Makine öğrenmesi yaklaşımları dil yapılarının eğitilmesinde de kullanılmaktadır. Makine öğrenmesine dayalı yöntemlerin doğruluğu uygun eğitime kalitesine, kullanılan sınıflandırıcının uygunluğuna ve kullanılan eğitim setine bağlı olarak değişebilmektedir (Devika vd., 2016). Makine öğrenmesine dayalı yöntemlerin eğitim seti vb. alanlara bağımlı olmaları ve eğitim gerektirmeleri gibi dezavantajları bulunmaktadır. Ancak sözlük temelli yaklaşımlar herhangi bir eğitim seti gerektirmez ve eğitim gerektirmemesi sözlük tabanlı yaklaşımlara avantaj sağlamaktadır.

Metin sınıflandırma için makine öğrenmesi yaklaşımları tercih edildiğinde denetimli ve denetimsiz öğrenme yöntemleri ele alınır. Denetimli öğrenmede, önceden etiketlenmiş bir veri kullanılarak bir sınıflandırma modeli oluşturulur. Daha sonra elde edilen sınıflandırma modeli, test verilerinin sınıf etiketi atamaları için kullanılır. Denetimli öğrenme yöntemi, makine öğrenmesi yaklaşımında daha fazla tercih edilmektedir. En yaygın olarak kullanılan denetimli öğrenme algoritmalarına baktığımızda, Olasılıksal Sınıflandırıcılar (NaiveBayes, Bayes Ağları, Maksimum-Entropi), Kural Tabanlı Sınıflandırıcılar, Doğrusal Sınıflandırıcılar (Destekçi Vektör Makinesi, Sınırlı Ağları) ve Karar Ağaçları yöntemleridir (Medhat vd., 2014) (Ravi&Ravi, 2015).

Etiketli eğitim verilerine ulaşmanın zor olduğu durumlarda denetimsiz öğrenme yöntemleri uygulanır. Önceden belirlenmiş duygu terimlerinin bir araya getirilmesi sözlük tabanlı yaklaşımlara kaynak sağlar. Sözlük tabanlı yaklaşımların doğrulukları, oluşturulan sözlükteki kelime-duygu ikililerinin bulunma derecelerinden etkilenebilmektedir (Koumpouri vd., 2015). Kullanılan duygu sözlüğünün ölçeği, metinden çıkarılacak duyguları doğrudan etkilemektedir. Sözlük tabanlı yaklaşımda, önce metinden duygu kelimeleri çıkarılır ve çıkarılan duygu kelimelerinin eş ve zıt anlamları sözlükte aranır (Medhat vd., 2014). Derlem tabanlı yöntemler ise, anlamsal ve istatistiksel yaklaşımlar olmak üzere iki farklı şekilde ele alınır ve kelime kökleri dikkate alınarak duygu içeren kelimelerin metin içerisinden aranması şeklinde gerçekleştirilir (Medhat vd., 2014; Pang& Lee, 2009). Hibrit yaklaşımlar, sözlük ve makine öğrenmesi yaklaşımlarının bir arada ele alınmasıyla oluşturulan yaklaşımlardır (Medhat vd., 2014; Liu, 2012). İstatistiksel yaklaşımda, istatistiksel yöntemler kullanılarak duygu ifade eden kelimelerin kökleri tespit edilir. Duygu, bir kelimenin pozitif-negatif cümle veya metin içinde bulunma sıklığı ile belirlenir. Kelimenin negatif veya pozitif cümlelerde bulunma frekansı, kelimenin pozitif, negatif veya nötr duygu bildiren bir kelime olması üzerinde etkilidir. Bir duyguyu ifade eden bir sözcükle bir kelimenin bir arada bulunma sıklığının daha yüksek olması, kelimenin benzer bir duyguya sahip olabileceği anlamına gelir (Medhat vd., 2014; Liu, 2012). Anlamsal yaklaşım, sözlük modeli oluşturma amacıyla benzer duygu içeren kelimelerin anlamsal olarak benzer olduğu temeline dayanır (Liu, 2012).

Sözlük tabanlı yaklaşımda, duyguların çıkarılması için sözcük kaynakları kullanılır. Önceden elde edilmiş bir kelime havuzuna göre metinden duygu ifade eden kelimeler ve duyguların eşleştirilmesi şeklinde gerçekleştirilir. Sözlük tabanlı yaklaşımlarda, hem MPQA (Deng&Wiebe, 2015) ve SentiWordNet (Baccianella vd., 2010) gibi duygu sözlüklerinden hem de dil özelliklerinden faydalanırlar.

Sözlük tabanlı yaklaşımları performans olarak değerlendirdiğimizde, sözlükteki duygu ifadelerinin kutupluluk derecesine bağlı olarak değiştiği görülmektedir (Turney, 2002).

Sözlük tabanlı yaklaşımlarda, manuel olarak oluşturulan sözlüklerin yüksek maliyetinden kaçınmak için sözlüklerin otomatik bir şekilde oluşturulması önem kazanmıştır (Li vd., 2012; Hatzivassiloglou&McKeown, 1997). Duygu sözlüklerinin genişletilmesi için kelimelerin dilsel ilişkileri veya anlamsal sözlükleri (WordNet) kullanan birçok çalışma olmuştur (Rao&Ravichandran, 2009; Kamps vd., 2004). NRC duygu sözlüğü, kitle yaklaşımı ile oluşturulan bir sözlüktür (Mohammad vd., 2015). DepecheMood, kapsam açısından geniş ve yüksek hassasiyetli otomatik olarak oluşturulmuş bir sözlüktür (Staiano&Guerini, 2014). LIWC sözlüğü olarak bilinen Dilbilimsel Sorgulama ve Kelime Sayımı, geniş bir metin analiz yazılımıdır (Pennebaker vd., 2001). EmoSenticNet, SenticNet kavramlarına altı WordNetAffect duygu etiketi atayan sözcüksel bir kaynaktır (Poria vd., 2012). Empath, büyük duygusal kategori kümelerini analiz etmek için tasarlanmış kelime sınıflandırma yaklaşımıdır. Bununla birlikte, F. Koto ve M. Adrianitwitter verilerini kullanarak ve Plutchik'in duygu çarkına (Plutchik, 2001) atıfta bulunarak Hashtag Tabanlı Duygu (HBE) sözlüğünü oluşturmuşlardır (Koto&Adriani, 2015). Song ve arkadaşları 2016 yılında duygu-kelime sözlüğü kavramını, duyguların anlambilimini işin içine katarak genişletmişlerdir.

Bu çalışmamızda önerdiğimiz NAYALex sözlüğü, NRC Emotion sözlüğü ve Plutchik'in duygu çarkı dâhil edilerek diğer sözlüklere göre daha fazla duygu sınıflandırması için oluşturulmuş ve kullanıma hazır hale getirilmiştir.

### 3. Materyal ve Metod

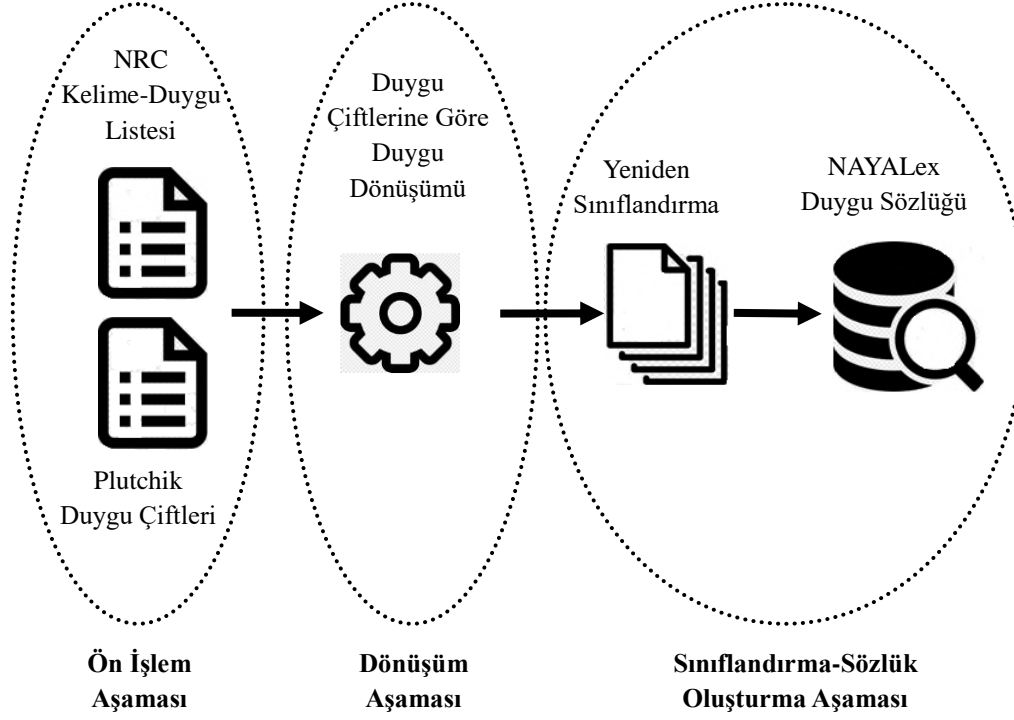
Sosyal medyanın yaygın bir şekilde kullanımıyla paylaşılan içeriklerdeki duyguların ortaya çıkarılması giderek önem kazanmaktadır. Sosyal medya kullanıcıları duygularını, paylaştıkları metinlere yansıtarak bu alanda yapılacak çalışmalar için büyük veri kaynakları oluşturmaktadırlar. Farklı şekillerde ortaya çıkan duyguların, metinlerden çıkarılması duygu sözlükleri ile yapılabilmektedir. Ancak duygu sınıflandırması için kullanılan sözlüklere baktığımızda, anahtar kelimelere atanmış duygu ifadelerinin sınırlı sayıda duygu içermesi dezavantaj olarak görülmektedir.

#### 3.1 Veri Kümesi

Deneyisel işlemlerde kullanılan veri seti, hesabı gizli olmayan Instagram kullanıcılarına ait toplam 10000 veriden oluşmaktadır. Her bir veri herhangi bir kullanıcıya ait paylaşım bilgisini içermektedir. Instagram API kullanılarak elde edilen Instagram kullanıcılarına ait veriler toplanırken sadece İngilizce dilinde ve en az 5 kelimedenden oluşan metinsel paylaşımlar dikkate alınmıştır. Elde edilen veri seti üzerinde doğal dil işleme teknikleri kullanılarak ön işlemler ve veri temizleme işlemleri yapılmıştır.

#### 3.2 Yöntem

Bu çalışmada, kişiliğin belirlenmesinde büyük önemi olan duygu sınıflandırmalarının literatürde kısıtlı sayıda yapılabilmemesinden kaynaklanacak dezavantajın ortadan kaldırılması hedeflenmiştir. 38 farklı duygu sınıflandırması yapabilen NAYALex sözlüğünü, Şekil-2'de gösterildiği gibi 3 ana aşamada Ön İşlem Aşaması, Dönüşüm Aşaması ve Sınıflandırma-Sözlük Oluşturma Aşaması'yla oluşturduk.



Şekil 2.NAYALex Duygu Sözlüğü Oluşturma Mimarisi

**Ön İşlem Aşaması:** NRC Duygu Sözlüğündeki 14.182 kelime, duygu dönüşümü için bir ilişki derecesi atayarak NRC duygu kategorileri ile eşleştirilmiştir (Tablo-1). Aynı zamanda, NRC duygu kategorileri, Plutchik'in duygu kategorilerini

oluşturmak için birleştirilir (Tablo-2). Bir sonraki dönüşüm aşaması için NRC ikili Duygu kombinasyonları ve bunun sonucunda Plutchik'in duygu kategorileri oluşturulur.

Tablo 1. NRC Duygu Sözlüğü (Mohammad, 2011)

Sözlük	Kelime Sayısı	Duygu Kategorileri	İlişkilendirme Dereceleri
	14.182 unigram (kelime)	<b>duygular:</b> * olumlu *olumsuz	0 (ilişkili değil) veya 1 (ilişkili)
NRC Sözcük-Duygu Derneği Sözlüğü (NRC Duygu sözlüğü veya EmoLex olarak da adlandırılır)	~ 25.000 duygu	<b>duygular:</b> *öfke *beklenti *tikinti *korku *sevinç *üzüntü *sürpriz *güven	İlişkili değil, zayıf, orta veya güçlü bir şekilde ilişkili



Tablo 2.Plutchik'in Duygu Çiftleri (Dreus, 2007)

#	İkili Duygu Kombinasyonları	Duygular	#	İkili Duygu Kombinasyonları	Duygular
1	Beklenti + Sevinç	İyimserlik, Cesaret	15	Sürpriz + Üzüntü	Onaylanmama, Hayal Kırıklığı
2	Beklenti + Güven	Umut, Kadercilik	16	Sürpriz + Tikslenme	İnançsızlık, Şok
3	Beklenti + Korku	Kaygı, Dehşet	17	Sürpriz + Öfke	Öfke, Nefret
4	Sevinç + Güven	Sevgi, Dostluk	18	Üzüntü + Tikslenme	Pişmanlık, Sefalet
5	Sevinç + Korku	Suçluluk, Heyecan	19	Üzüntü + Öfke	Kıskançlık, sıkıcılık
6	Sevinç + Sürpriz	Keyif, Kader	20	Üzüntü + Beklenti	Karamsarlık
7	Güven + Korku	Teslimiyet, Tevazu	21	Tikslenme + Öfke	Küçümseme
8	Güven + Sürpriz	Merak	22	Tikslenme + Beklenti	Alaycılık
9	Güven + Üzüntü	Duygusalılık, Tevekkül	23	Tikslenme + Neşe	Hastalık, Kötülük
10	Korku + Sürpriz	Huşu, Telaş	24	Öfke + Beklenti	Saldırganlık, İntikam
11	Korku + Üzüntü	Umutsuzluk	25	Öfke + Sevinç	Gurur, Zafer
12	Korku + Tikslenme	Utanc, Küstahlık	26	Öfke + Güven	Hakimiyet
13	Sevinç + Üzüntü	Acı tatlılık	27	Korku + Öfke	Donukluk
14	Güven + Tikslenme	Kararsızlık	28	Sürpriz + Beklenti	Bilinç bulanıklığı, şaşkınlık

**Dönüşüm Aşaması:** NRC Duygu sözlüğündeki her bir kelime, olumlu-olumsuz duygular ve 8 farklı duygu (neşe, güven, korku, şaşkınlık, üzüntü, tikslenme, öfke ve beklenti) için 0 (ilişki yok) ve 1 (ilişki var) şeklinde derecelendirilmiştir (Mohammad, 2016). Ön işlem aşamasında elde edilen duygu setleri referans alınarak, Plutchik duygu çiftlerinin etki ettiği ve ortaya çıkardığı yeni duygularla eşleştirilmektedir.

**Sınıflandırma-Sözlük Oluşturma Aşaması:** NRC Duygu Sözlüğü'nde bulunan 8 duygu ile Plutchik'in Temel Duyguların Psikoevrimsel Teorisi'ne (Dreus&Krohn, 2007) göre belirlenen 8 temel duygu aynıdır. Plutchik Duygu Çarkı'nda bulunan 8 temel duygu birbirleriyle birleşerek 28 duygu çifti oluşturmakta ve bu duygu çiftlerinin birleşimi daha farklı duyguları meydana getirmektedir. Tablo 2'deki İkili Duygu Kombinasyonları dikkate alınarak, duygu çiftleri için eşleştirmeler yapılmaktadır. NRC Duygu Sözlüğü'nde bulunan her bir kelimenin ilişkili olduğu duygular, Plutchik'in duygu çiftlerine göre uyarlanmakta ve 28 farklı duygudaki her bir kelime Plutchik'in Tablo 2'deki duygu kategorileriyle ilişkilendirilmektedir. Bu ilişkilendirme şu şekilde yapılmaktadır; 28 farklı duygu çifti için NRC Duygu Sözlüğü'ndeki her kelime aranmakta ve bulunan

her duygu çiftine karşılık gelen duygu için 0 ve 1 şeklinde derecelendirilmektedir. Elde edilen kelime-duygu sözlüğündeki her kelime, ayrıca NRC Duygu sözlüğünde doğrudan karşılık bulan olumlu-olumsuz ve 8 farklı duygu için derecelendirilerek 38 farklı duygu içeren sözlük ortaya çıkarılmaktadır.

NAYALex sözlüğünün oluşturulması Tablo-3'te sembolik olarak ifade edilmiştir. Sembolik gösterimdeki (X,Y,Z) birer kelime, (A,B,C) NRC sözlüğünde bulunan ve (X,Y,Z) kelimeleriyle ilişkili olan duygular, (A+B, B+C, A+C) Plutchik teorisinde yer alan duygu çiftleri, (J,K,L) duygu dönüşümü sonucu ortaya çıkan ve NAYALex sözlüğünde bulunan duyguları belirtmektedir.

NRC Duygu sözlüğünde bulunan her bir kelime (örneğin "X" kelimesi); NRC Duygu Sözlüğünde ilişkili olduğu duygular (A,B) için "1", ilişkili olmadığı duygular (C) için "0" ile belirtilmiştir. "X" kelimesi için duygu dönüşümüne etki eden Plutchik duygu çifti/çiftleri  $A + B \rightarrow J$  şeklinde ifade edilmiştir. Duygu dönüşümü sonrası oluşan NAYALex sözlüğümüzde "X" kelimesi için oluşan duygu ilişkileri  $A \rightarrow 1, B \rightarrow 1, C \rightarrow 1, J \rightarrow 1, K \rightarrow 0, L \rightarrow 0$  şeklinde olmaktadır.

**Tablo 3.** Duygu Çiftlerine Göre Duygu Dönüşümü ve Yeniden Sınıflandırma Sembolik Gösterimi

Sözlük Kelimesi (X,Y,Z birer kelime)	NRC Duygu Etiketleri (A,B,C birer duygu)	Dönüşüme Etki Eden Plutchik Duygu Çifti (J,K,L oluşturulan yeni duygular)	NAYALex'te Oluşan Duygu Etiketleri 1→ ilgili duygu sözlük kelimesi ile ilişkili 0→ ilgili duygu sözlük kelimesi ile ilişkili değil
X	A → 1 B → 1 C → 0	A + B → J	A → 1 B → 1 C → 0 J → 1 K → 0 L → 0
Y	A → 0 B → 1 C → 1	B + C → L	A → 0 B → 1 C → 1 J → 0 K → 0 L → 1
Z	A → 1 B → 1 C → 1	A + B → J A + C → K B + C → L	A → 1 B → 1 C → 1 J → 1 K → 1 L → 1

**Tablo 4.** NRC ve NAYALex Kelime-Duygu Eşleştirmesi

Sözlükte Bulunan Kelime	İlişkili Olduğu Duygular	
	NRC Sözlüğü	NAYALex Sözlüğü
tribulation (sıkıntı)	Negatif, Korku, Üzüntü	Negatif, Korku, Üzüntü, Umutsuzluk
palsy (acizlik)	Negatif, Tikslenme, Korku, Üzüntü	Negatif, Tikslenme, Korku, Üzüntü, Utanç, Pişmanlık, Umutsuzluk
accolade (övgü)	Pozitif, Beklenti, Sevinç, Sürpriz, Güven	Pozitif, Beklenti, Sevinç, Sürpriz, Güven, İyimserlik, Şaşkınlık, Umut, Keyif, Sevgi, Merak
mighty (güçlü)	Pozitif, Öfke, Korku, Sevinç, Güven	Pozitif, Öfke, Korku, Sevinç, Güven, Donukluk, Gurur, Hâkimiyet, Heyecan, Tevazu, Sevgi

NRC ve NAYALex sözlükleri için kelimelerin geçtiği metinleri ilişkili (1) etki gösterdiği duygular Tablo-4'te örnek olarak gösterilmiştir. Yukarıda sembolik olarak oluşumu ifade ettiğimiz NAYALex sözlüğümüz için Python dilinde bir kütüphane oluşturduk. Oluşturduğumuz kütüphaneyi kullanarak sözlüğümüzün uygulanabilirliğini göstermek için Bölüm IV'te birtakım deneysel çalışmalar yaptık.

#### 4. Deneysel Çalışmalar ve Tartışma

Bu bölümde NRC duygu Sözlüğü (Mohammad, 2016) ve Plutchik'in Temel Duyguların Psikoevrimsel Teorisine (Drews&Krohn, 2007) dayanarak melez bir şekilde oluşturulan

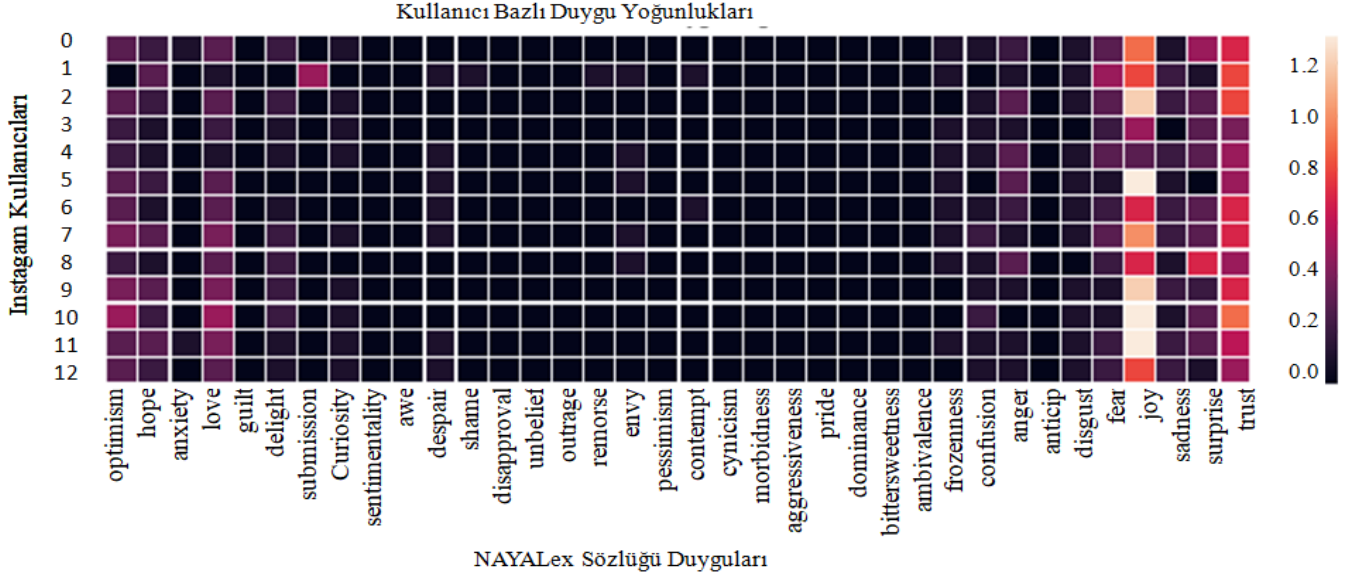
NAYALex sözlüğünün veri seti üzerinde uygulanması ve değerlendirilmesi hedeflenmektedir.

NAYALex sözlüğü için oluşturulan Python Kütüphanesi kullanılarak Instagram veri setindeki tüm veriler 38 farklı duygu için sınıflandırılmıştır. Sınıflandırılmış veri setinden istenilen bir kullanıcıya ait duygu yoğunluğunu ortaya çıkarmak için, veri setinde ilgili kullanıcıya ait sınıflandırılmış tüm verilerden ortalama duygu yoğunluğu elde edilmektedir. Şekil 3'te 13 farklı kullanıcıya ait Instagram verilerinin kullanıcı bazlı olarak ortalama duygu yoğunluklarını gösterilmektedir.

Şekil 3'te verilen ortalama duygu yoğunluğu 10000 farklı veriden oluşan veri setinde yapılan duygu sınıflandırması sonucu rasgele seçilmiş 13 kullanıcıya aittir.

Burada ifade edilen ortalama duygu yoğunluğu için, her bir kullanıcıya ait farklı sayıdaki paylaşımlar NAYALex Sözlüğü ile

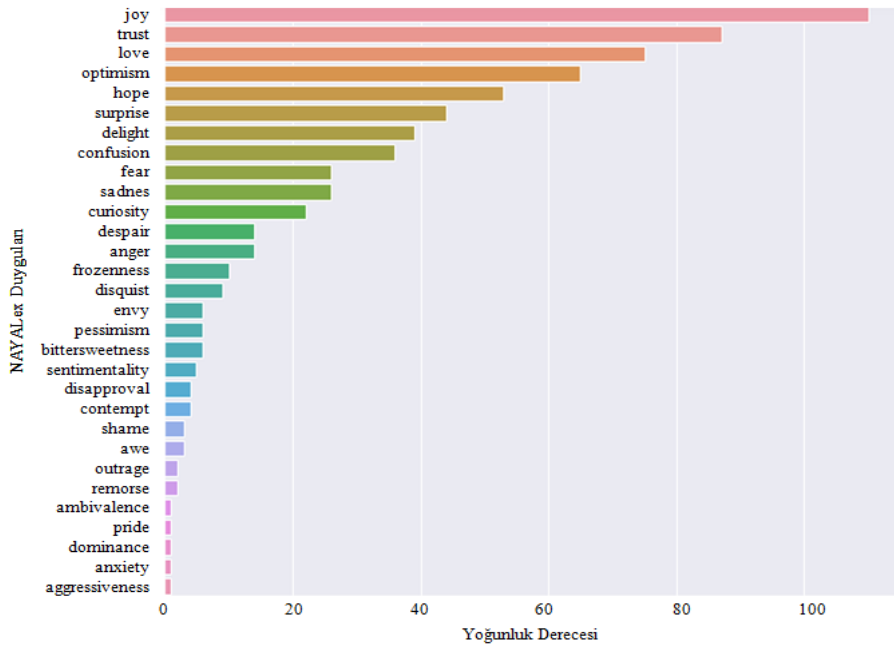
sınıflandırılmıştır. Ardından veri setindeki tüm paylaşımlar her bir kullanıcı için filtrelenerek ortalama duygu yoğunlukları elde edilmiştir. İstenilen kullanıcıların duygu yoğunlukları Şekil-3'teki gibi aynı anda gösterilerek, kişiler arasındaki benzer duygu yoğunlukları izlenebilmektedir.



Şekil 3. Kullanıcı Bazlı Duygu Yoğunlukları

Örneğin 12 nolu Instagram kullanıcısının veri setinde 288 farklı Instagram gönderisi-paylaşımı bulunmaktadır. Veri setinde bulunan 12 no'lu Instagram kullanıcısının 288 farklı paylaşımının duygu yoğunluğu bireysel olarak Şekil-4'te ele alınmıştır. İlgili kullanıcının tüm paylaşımlarını ayrı ayrı değerlendirmek yerine,

ortalama duygu yoğunluğu dikkate alınarak Şekil-4'te oluşturulan 12 nolu kullanıcının en yoğun 3 duygusunun "joy (sevinç)", "trust (güven)" ve "love (sevgi)" olduğu görülmektedir.



Şekil 4. 12 Nolu Instagram Kullanıcısına Ait Duygu Yoğunluğu

Alışılmış "kelime bulutu" kavramına farklı bir bakış katarak, 12 nolu kullanıcı için NAYALex Duygu Sözlüğü

kullanılarak sınıflandırılmış paylaşımlarına ait örnek bir "duygu bulutu" Şekil-5'te gösterilmiştir.



Şekil 5. 12 Nolu Kullanıcıya Ait Duygu Bulutu

Sözlük tabanlı duygu analizi için kullanılan bazı sözlükler ile NAYALex duygu sözlüğü, duygu-kapsam bakımından Tablo-5 teki karşılaştırılmıştır. İfade edilen duyguların, her bir sözlük için sınıflandırılabilir olup-olmadığı dikkate alınarak ifade

edilmiştir. Tablolaştırılmış duygular dikkate alındığında, kişilik üzerinde etkili olan en fazla sayıda duyguyu sınıflandırabilen sözlüğün NAYALex Duygu Sözlüğü olduğu ortaya çıkmaktadır.

Tablo 5. NAYALex ve Diğer Duygu Sözlüklerinin Duygu-Kapsam Karşılaştırması

Duygu	NAYALex	NRC (Emolex)	LIWC	EmoSentic - Net	Empath
Positive (olumlu)	√	√	√	x	x
Negative (olumsuz)	√	√	√	x	x
Anger (öfke)	√	√	√	√	√
Sadness (üzüntü)	√	√	√	√	√
Joy (sevinç)	√	√	x	√	√
Fear (korku)	√	√	x	√	√
Surprise (sürpriz)	√	√	x	√	√
Disgust (tikinti)	√	√	x	√	x
Trust (güven)	√	√	x	x	x
Anticipation (beklenti)	√	√	x	x	x
Love (sevgi)	√	x	x	x	√
Optimism (iyimserlik), Hope (umut), Anxiety (kaygı), Guilt (suçluluk), Delight (kader), Submission (teslimiyet), Curiosity (merak), Sentimentality (duygusallık), Awe (huşu), Despair (umutsuzluk), Shame (utanç), Bittersweetness (acı tatlılık), Disapproval (onaylamama), Ambivalence (kararsızlık), Unbelief (inançsızlık), Outrage (öfke-nefret), Remorse (pişmanlık), Envy (kıskançlık), Pessimism (karamsarlık), Contempt (küçümseme), Cynicism (alaycılık), Morbidity (kötülük), Aggressiveness (saldırganlık), Pride (gurur), Dominance (hakimiyet), Frozenness (donukluk), Confusion (bilinç bulanıklığı)	√	x	x	x	x
<p>√ : Duygu, ilgili sözlük tarafından sınıflandırılabilir.            × : Duygu, ilgili sözlük tarafından sınıflandırılmaz.</p>					

## 5. Sonuç ve Gelecekteki Çalışmalar

Sözlük tabanlı duygu analizi yapan çalışmalarda sınırlı sayıda duygu çıkarılması, kişiliğin belirlenmesinde yetersiz kalabilmektedir. Çalışmamızda, bu problemi iyileştirmek adına daha fazla sayıda duygu çıkarımına izin veren NAYALex Duygu

Sözlüğünü önerdik. Metinsel ifadelerin daha geniş spektrumda duygularla etiketlenmesi kişiliğin belirlenmesinde daha doğru neticeye ulaşılmasını sağlar. Bu çalışmada, Instagram veri seti üzerinde bazı deneyler yaparak, NRC duygu Sözlüğü

(Mohammad, 2016) ve Plutchik'in Temel Duyguların Psikoevrimsel Teorisine (Drews&Krohn, 2007) dayanarak oluşturduğumuz NAYALex'in uygulanabilirliği gösterilmiştir.

Sözlük tabanlı yaklaşımlarda, manuel olarak oluşturulan sözlüklerin yüksek maliyetinden kaçınmak için sözlüklerin

otomatik bir şekilde oluşturulması önem kazanmıştır (Li vd., 2012; Hatzivassiloglou& McKeown,1997). NAYALex duygu sözlüğü, NRC duygu Sözlüğü (Mohammad, 2016) ve Plutchik'in Temel Duyguların Psikoevrimsel Teorisi (Drews&Krohn, 2007) kullanılarak otomatik olarak oluşturulmuş olup, yüksek maliyet ortadan kaldırılmıştır.

**Tablo 6.** Nayalex ve Diğer Duygu Sözlüklerinin Sınıflandırma Oranlarının Karşılaştırılması(Tiffany'nin Belirttiği 154 Farklı Duyguya Göre)

#	NAYALex	NRC(Emolex)	Empath	EmoSentic-Net	LIWC
Doğrudan Sınıflandırabildiği Duygu Sayısı	38	8	6	6	4
Tiffany'nin 154 Duygusunu Temsil Etme Oranı	24,70%	6,50%	3,90%	3,90%	2,60%

Dünya çapında 154 farklı duygu olduğunu ifade eden Tiffany (Medhat vd., 2014)'nin belirttiği duygular arasından en fazla sayıda duygu sınıflandırması yapabilen sözlük önerdiğimiz NAYALex sözlüğüdür. Tiffany'nin belirttiği duygular dikkate alındığında; NAYALex bu duyguların %24,7'sini, NRC %6,5'ini, LIWC %2,6'sını, EmoSenticNet %3,9'unu ve Empath %3,9'unu oransal olarak temsil ettiği ve doğrudan sınıflandırabildiği Tablo-6 da gösterilmiştir. Bildiğimiz kadarıyla bu çalışma, sözlük tabanlı duygu sınıflandırması yapan çalışmalar arasında, doğrudan 38 farklı duyguyu ortaya çıkarabilen ve %24,7 lik temsil oranıyla ilk en kapsamlı sözlük olmuştur.

Gelecekteki çalışmamızda NAYALex Duygu Sözlüğünü genişletmeye odaklanacağız. Bunun için WordNet vb. anlamsal sözlükler ve kelimelerin dilsel ilişkilerini kullanarak duygu sözlüğünü genişletmeye ve makine öğrenmesi tabanlı sınıflandırma algoritmalarını kullanarak test etmeye çalışacağız.

## 6. Teşekkür

Çalışmalarımnda bana destek olan ve fırsat veren eşim Yıldız'a, kızlarım Beyza Nur ve Meva Sultan'a teşekkür ederim.

## Kaynakça

Alarcao, S. M., &Fonseca, M. J. (2017). Emotionsrecognitionusing EEG signals: A survey. IEEE Transactions on Affective Computing, 10(3), 374-393.

Alarid, M. (2016). Recruitmentandradicalization: The role of socialmediaandnewtechnology. Impunity: Counteringillicitpower in warandtransition, 313-330.

Baccianella, S., Esuli, A., &Sebastiani, F. (2010). Sentiwordnet 3.0: An enhancedlexicalresourceforsentimentanalysisandopinionmining. Lrec, 10, 2200-2204.

Bae, H. S., Lee, H. J., & Lee, S. G. (2016, June). Voice recognitionbased on adaptive MFCC anddeeplearning. In 2016 IEEE 11th Conference on IndustrialElectronicsand Applications (ICIEA) (pp. 1542-1546). IEEE.

Breck, E., Choi, Y., &Cardie, C. (2007, January). Identifyingexpressions of opinion in context. In IJCAI (Vol. 7, pp. 2683-2688).

Cambria, E., Schuller, B., Xia, Y., &Havasi, C. (2013). New avenues in opinionminingandsentimentanalysis. IEEE Intelligentsystems, 28(2), 15-21.

Colombetti, G. (2009). Fromaffectprogramstodynamicaldiscreteemotions. PhilosophicalPsychology, 22(4), 407-425.

Deng, L., &Wiebe, J. (2015). Mpqa 3.0: An entity/event-levelsentimentcorpus. InProceedings of the 2015 conference of the North Americanchapter of theassociationforcomputationallinguistics: humanlanguageandtechnologies (pp. 1323-1328).

Devika, M. D., Sunitha, C., &Ganesh, A. (2016). Sentimentanalysis: a comparativestudy on differentapproaches. ProcediaComputerScience, 87, 44-49.

Drews, M. (2007). Robert Plutchik'sPsychoevolutionaryTheory Of BasicEmotions.(Erişim tarihi: 12.07.2021, <http://www.adliterate.com/archives/Plutchik.emotion.theorie.POSTER.pdf>)

Drews, M., &Krohn, M. (2007). Robert Plutchik'sPsychoevolutionarytheory of basicemotions. University of AppliedSciencesPostdam, Germany. Retrievedfrom <http://www.markusdrews.de/Plutchiks.Emotionstheorie.PLAkat.pdf>.

Er, M. B. (2020). A NovelApproachforClassification of Speech EmotionsBased on DeepandAcousticFeatures. IEEE Access, 8, 221640-221653.

ER, M. B., & Harun, Ç. İ. Ğ. (2020). Türk Müziği Uyarınları Kullanılarak İnsan Duygularının Makine Öğrenmesi Yöntemi İle Tanınması. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji, 8(2), 458-474.

Fast, E., Chen, B., &Bernstein, M. S. (2016, May). Empath: Understandingtopicsignals in large-scaletext. InProceedings of the 2016 CHI conference on humanfactors in computingsystems (pp. 4647-4657).

Hatzivassiloglou, V., &McKeown, K. (1997, July). Predictingthesemanticorientation of adjectives. In 35th annualmeeting of theassociationforcomputationallinguisticsand 8th conference of theeuropeanchapter of theassociationforcomputationallinguistics (pp. 174-181).

Hidalgo, C. R., Tan, E. S. H., &Verlegh, P. W. (2015). Thesocialsharing of emotion (SSE) in online

- socialnetworks: A casestudy in Live Journal. *Computers in Human Behavior*, 52, 364-372.
- Hussein, D. M. E. D. M. (2018). A survey on sentimentanalysischallenges. *Journal of KingSaudUniversity-EngineeringSciences*, 30(4), 330-338.
- Kamps, J., Marx, M., Mokken, R. J., & De Rijke, M. (2004, May). Using WordNetto measure semanticorientations of adjectives. In *LREC (Vol. 4, pp. 1115-1118)*.
- Koto, F., &Adriani, M. (2015, December). HBE: Hashtag-basedemotionlexiconsfortwittersentimentanalysis. In *Proceedings of the 7th Forum for Information Retrieval Evaluation (pp. 31-34)*.
- Koumpouri, A., Mporas, I., &Megalooikonomou, V. (2015, September). Evaluation of FourApproachesfor" Sentiment Analysis on Movie Reviews" TheKaggleCompetition. In *Proceedings of the 16th International Conference on Engineering Applications of Neural Networks (INNS) (pp. 1-5)*.
- Kušen, E., Cascavilla, G., Figl, K., Conti, M., &Strembeck, M. (2017, August). Identifyingemotions in socialmedia: comparison of word-emotionlexicons. In *2017 5th International Conference on Future Internet of ThingsandCloudWorkshops (FiCloudW) (pp. 132-137)*. IEEE.
- Lang, P. J. (1995). Theemotionprobe: Studies of motivationandattention. *Americanpsychologist*, 50(5), 372.
- Li, F., Pan, S. J., Jin, O., Yang, Q., &Zhu, X. (2012, July). Cross-domain co-extraction of sentimentandtopiclexicons. In *Proceedings of the 50th Annual Meeting of theAssociationforComputationalLinguistics (Volume 1: LongPapers) (pp. 410-419)*.
- Lin, C. K., Lee, Y. Y., Yu, C. H., &Chen, H. H. (2014, November). Exploringensemble of models in taxonomy-basedcross-domain sentimentclassification. In *Proceedings of the 23rd ACM International Conference on Conference on Information and Knowledge Management (pp. 1279-1288)*.
- Liu, B. (2012). Sentimentanalysisandopinionmining. *Synthesislectures on humanlanguage technologies*, 5(1), 1-167.
- Malik, K. R., Ahmad, M., Khalid, S., Ahmad, H., Al-Turjman, F., &Jabbar, S. (2020). Image andcommandhybrid model forvehiclecontrolusing Internet of Vehicles. *Transactions on EmergingTelecommunications Technologies*, 31(5), e3774.
- Medhat, W., Hassan, A., &Korashy, H. (2014). Sentimentanalysisalgorithmsandapplications: A survey. *AinShamsengineeringjournal*, 5(4), 1093-1113.
- Mittal, S., Agarwal, S., &Nigam, M. J. (2018, November). Real time multiplefacerecognition: A deeplearningapproach. In *Proceedings of the 2018 International Conference on DigitalMedicineand Image Processing (pp. 70-76)*.
- Mohammad, S. (2011). SentimentandEmotionLexicons. (Erişim tarihi: 12.07.2021, <http://saifmohammad.com/WebPages/lexicons.html>).
- Mohammad, S. (2016) NRC Word-EmotionAssociationLexicon. (Erişim tarihi: 12.07.2021, <http://saifmohammad.com/WebPages/NRC-Emotion-Lexicon.html>).
- Mohammad, S. M., Zhu, X., Kiritchenko, S., & Martin, J. (2015). Sentiment, emotion, purpose, andstyle in electoraltweets. *Information Processing& Management*, 51(4), 480-499.
- Mohammad, S., &Kiritchenko, S. (2013, June). Using nuances of emotionto identifypersonality. In *Seventh International AAAI Conference on WeblogsandSocial Media*.
- Pang, B., & Lee, L. (2009). Opinionminingandsentimentanalysis. *Comput. Linguist*, 35(2), 311-312.
- Pang, B., Lee, L., &Vaithyanathan, S. (2002). Thumbsup? Sentimentclassificationusingmachinelearningtechniques. *arXivpreprintcs/0205070*.
- Pennebaker, J. W., Francis, M. E., &Booth, R. J. (2001). *Linguisticinquiryandwordcount: LIWC 2001*. Mahway: Lawrence ErlbaumAssociates, 71(2001), 2001.
- Picard, R. W. (2000). *Affectivecomputing*. MIT press.
- Plutchik, R. (1980). A general psychoevolutionarytheory of emotion. In *Theories of emotion (pp. 3-33)*. Academicpress.
- Plutchik, R. (2001). Thenature of emotions: Human emotionshavedeepevolutionaryroots, a factthatmayexplaintheircomplexityandprovidetoolsforclinicalpractice. *American scientist*, 89(4), 344-350.
- Poria, S., Gelbukh, A., Cambria, E., Yang, P., Hussain, A., &Durrani, T. (2012, October). MergingSenticNetandWordNet-Affectemotionlistsforsentimentanalysis. In *2012 IEEE 11th internationalconference on signalprocessing (Vol. 2, pp. 1251-1255)*. IEEE.
- Rao, D., &Ravichandran, D. (2009, March). Semi-supervisedpolaritylexiconinduction. In *Proceedings of the 12th Conference of theEuropeanChapter of the ACL (EAACL 2009) (pp. 675-682)*.
- Ravi, K., &Ravi, V. (2015). A survey on opinionminingandsentimentanalysis: tasks, approachesandapplications. *Knowledge-basedsystems*, 89, 14-46.
- Song, K., Gao, W., Chen, L., Feng, S., Wang, D., &Zhang, C. (2016, July). Buildemotionlexiconfromthemood of crowdviatopic-assistedjointnon-negativematrixfactorization. In *Proceedings of the 39th International ACM SIGIR conference on Researchand Development in Information Retrieval (pp. 773-776)*.
- Staiano, J., &Guerini, M. (2014). Depechemood: a lexiconforemotionanalysisfromcrowd-annotatednews. *arXivpreprint arXiv:1405.1605*.
- Turney, P. D. (2002). Thumbsuporthumbsdown? Semanticorientationappliedtounsupervisedclassification of reviews. *arXivpreprintcs/0212032*.
- Woolf, N. (2016). As fakenewstakesover Facebook feeds, manyaretaking satire as fact. *TheGuardian*. Accessed, 1, 04-18.
- Yessenalina, A., Yue, Y., &Cardie, C. (2010, October). Multi-levelstructuredmodelsfordocument-levelsentimentclassification. In *Proceedings of the 2010 conference on empiricalmethods in natural languageprocessing (pp. 1046-1056)*.



# Sürdürülebilir Kırsal Kalkınma Uygulaması Örneği: Yukarı Avusturya, Ottenschlag Köyü ve Mooswiesen Biyolojik Göleti Peyzaj Planlama Projesi

Gül Aslı Aksu<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> Kastamonu Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Kastamonu, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-6847-6182),  
[gaaksu@kastamonu.edu.tr](mailto:gaaksu@kastamonu.edu.tr) / [aslibozbay@yahoo.de](mailto:aslibozbay@yahoo.de)

(İlk Geliş Tarihi 29 Temmuz 2021 ve Kabul Tarihi 21 Kasım 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.976165)

**ATIF/REFERENCE:** Aksu, G.A. (2021). Sürdürülebilir Kırsal Kalkınma Uygulaması Örneği: Yukarı Avusturya, Ottenschlag Köyü ve Mooswiesen Biyolojik Göleti Peyzaj Planlama Projesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (27), 1061-1072.

## Öz

Kültürel Peyzaj; insan müdahaleleri ile şekillenen, geçmişin aynası, geleceğin göstergesi niteliği taşıyan, günümüz kullanımlarına ve doğal-kültürel mirasa ev sahipliği yapan, çevrenin önemli bileşenidir. Ölçek itibarıyla, ekosistem ile biyom arasında yer alan peyzajların kalitesi ve çeşitliliği ortak bir kaynak oluşturmaktadır. "Avrupa Peyzaj Sözleşmesi" ile bu kaynağın iş birliği ile korunmasına, yönetilmesine ve planlanmasına önem verilmektedir. Peyzajların envanteri ve sürdürülebilirlik ilkelerine göre değerlendirilip kullanımlara yönelik stratejiler geliştirilmesi, kullanıcıların yaşam kalitesinin ve halk sağlığının iyileştirilmesi ve biyolojik çeşitliliğin korunup teşvik edilmesi adına da önemli bir katma değer sağlamakta, ekonomik kalkınmayı desteklemektedir. Avrupa Birliği'nin Natura 2000 ağı ile başlattığı önemli türlerin ve yaşama ortamlarının korunup geliştirilmesine yönelik hamlesinin, "Avrupa Yeşil Mutabakatı" ile daha üst seviyelere taşınması hedeflenmektedir. Ekosistem bozulması önemli yıkımlara ve kayıplara sebep olmaktadır. Daha iyi bir gelecek ve doğal kaynakların sürdürülebilirliğini sağlamak için kültürel müdahalelerin ve kullanımların, biyoçeşitlilik ve ekosistemler üzerindeki etkilerinin tespit edilmesi ve değerlendirmesi gerekmektedir. Peyzaj fonksiyonları, bu açıdan gösterge niteliği taşımaktadır. İçerisinde çok sayıda fonksiyonun cereyan ettiği kültürel peyzajların planlanması ve restorasyonu, sürdürülebilir kalkınma adına önem kazanmakta ve her geçen gün daha elzem hale gelmektedir. Tüm bu özelliklerinden ötürü sürdürülebilir planlama ve doğala yakın peyzaj tasarımı konularına örnek olarak seçilmiş olan "Ottenschlag Köyü Sürdürülebilir Kalkınma ve Mooswiesen Biyolojik Göleti Projesi"nin uygulama süreci, bu makalede kapsamlı olarak değerlendirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Kültürel Peyzaj, Uygulama Projesi, Sürdürülebilir Kalkınma, Peyzaj Fonksiyonu, Peyzaj Planlama.

## A Sustainable Rural Development Implementation: Upper Austria, Ottenschlag Village and Mooswiesen Ecological Lake Landscape Planning Project

### Abstract

Cultural Landscapes are important components of the environment shaped by human interventions. They are mirrors of the past and indicators of the future, while currently hosting highly diverse anthropogenic uses and the natural-cultural heritage. As a scale, the landscapes located between ecosystems and bioms are forming a common source with their quality and diversity. The "European Landscape Convention" cares about the protection, management and planning of this highly diverse resource. Sustainable developing strategies improve the quality of life and public health and promote biological diversity as well. They also support economic development. The EU goal to protect and develop important species and habitats is currently being moved to higher levels with ambitious goals of the "European Green Deal". Ecosystem degradation causes significant destruction and losses. To ensure a better future and sustainability of natural resources, it is necessary to identify and evaluate the impacts of cultural interventions and uses on biodiversity and ecosystems. Landscape functions are indicative in this respect. The planning and restoration of cultural landscapes, in which many functions take place, are gaining importance for sustainable development and are becoming more and more essential. The implementation process of the "Ottenschlag Village Sustainable Development and Mooswiesen Ecological Lake Landscape Planning Project", which has been chosen as an example for sustainable planning and natural landscape design due to all these features, has been comprehensively evaluated in this article.

**Keywords:** Cultural Landscape, Implementation Project, Sustainable Development, Landscape Function, Landscape Planning.

\* Sorumlu Yazar: [gaaksu@kastamonu.edu.tr](mailto:gaaksu@kastamonu.edu.tr) / [aslibozbay@yahoo.de](mailto:aslibozbay@yahoo.de)

## 1. Giriş

Günümüzde “Kültürel Peyzaj”, doğal ve insan eylemi sonucu ortaya çıkmış habitatlar arasında köprü görevi gören; peyzaj yönetimi ve planlamasında önemli bir adım taşı teşkil eden ve bu özellikleri dolayısıyla hassasiyetle ele alınması gereken bir kavramdır. Kültürel peyzajların bütüncül bir bakış açısıyla anlaşılması için barındırdıkları flora, fauna, cansız çevre ve kültürel çeşitlilik bakımından değerlendirilmeleri ve karakteristiklerinin ortaya konulması gerekmektedir. Bu karakteristikler sürdürülebilir planlama ve kalkınma açısından gerek biyolojik çeşitliliğin korunması ve teşvik edilmesinde, gerek medeniyetler arası köprülerin kurulmasında ve gerekse sürdürülebilir kalkınmanın teşvik edilmesinde önemli kimlik değerleri ve göstergeler barındırmaktadır.

1992 yılında “Kültürel Peyzaj” kategorisi Dünya Mirası Komitesi tarafından kabul edilerek, “Dünya Kültürel ve Doğal Mirasın Korunması Sözleşmesi” (1972 yılında UNESCO tarafından kabul edilen ve ülke olarak 1982 yılında taraf olduğumuz) kapsamına alınmış ve böylelikle kültürel peyzajların korunmasına yönelik öncül bir çerçeve teşkil etmiştir (Ürün, 2016; URL-1).

Avrupa Konseyi 1995 tarihli ve “Peyzaj Politikalarının Bir Parçası Olarak Kültürel Peyzaj Alanlarının Bütünleşmiş Korunması” başlıklı tavsiye kararında ise sanayi, turizm, konut yerleşimleri, tarım, ormancılık vb. unsurlara yönelik gelişme ve dönüşümlerin kültürel peyzaj alanlarında oluşturduğu tehlikelere dikkat çekilerek, bu alanların kültürel, ekolojik, ekonomik, sosyal boyutlar içeren, yerel-ulusal mekanizmaları koordine eden çok boyutlu sistemlerle korunmasını önermiştir (Avrupa Komisyonu, 1995; Kayın, 2012). Böylelikle 90’lı yıllarda kültürel peyzajların korunmasına yönelik önemli düzenlemelerin ilk adımları atılmıştır.

2000 yılında Floransa’da yürürlük kazanan ve ülkemizin de 2003 yılında taraf olduğu “Avrupa Peyzaj Sözleşmesi’ne (APS)” göre; kültürel ve doğal mirasın en önemli parçası olarak Peyzaj, yerel kültürlerin oluşumuna ve kimlik değerlerinin sağlanmasına önemli katkılar sağlamaktadır. Peyzajın; her yerdeki insan için, kırsal ve kentsel; yüksek kaliteli ve bozulmuş, sıradan ve sıra dışı güzelliklere sahip olan alanlarda yaşam kalitesinin oluşturulması ve muhafaza edilmesinde önemli rolleri vardır. Peyzajların kalitesi ve çeşitliliği ortak bir kaynak oluşturmaktadır ve bunun korunmasında, yönetilmesinde ve planlanmasında iş birliği önem kazanmaktadır. Yine APS’ye göre “Peyzaj Koruma” Peyzajların önemli ve karakteristik özelliklerinin korunması ve devamı için yapılan işlemlerdir ve bunlar da peyzajın doğal biçimi ve/veya insan faaliyetlerinden kaynaklanan miras değeri ile kararlaştırılmaktadır.

APS (2003), Madde 5 a.’ya göre; “Peyzajları, yasa çerçevesinde, insanların çevrelerinde gerekli olan bir unsur olarak tanımak ve ortak olarak paylaşılan kültürel ve doğal mirasın çeşitliliğinin bir ifadesi ve insanların kimliklerinin bir esası olarak kabul etmek;” gerekmektedir. Bu anlamda peyzajın korunması, yönetilmesi ve planlanması amacıyla peyzaj politikalarının oluşturulması ve uygulanması, ülkenin refahı ve sosyal yaşam konforu açısından büyük önem taşımaktadır. Bu kapsamda değerlendirildiğinde, biyolojik çeşitliliğin korunması ve teşvik edilmesi, ekosistem hizmetlerinin sağlıklı bir

çerçevede sürdürülebilmesi, halk sağlığının korunması gibi hayati konular açısından önem taşıyan Peyzaj planlama ve yönetiminin ulusal ve uluslararası düzeyde önemli bir sorumluluk haline geldiği anlaşılmaktadır.

## 2. Kapsam

Kültürel peyzajlar doğal habitatlarla kültürel faaliyetler arasında önemli bir arakesit teşkil ettikleri için öncelikle bu bağlamda genel çerçeve teşkil edecek konular üzerinde durulmuştur.

### 2.1. Kültürel Peyzaj ve Biyolojik Çeşitlilik

Kültürel peyzajlar, insan ve doğanın bütünlüğü ve kültürel mirasın önemli bir parçasıdır (Tülek ve Saner, 2020). Kültürel Peyzajlar, doğal özellikleri insan faaliyetleri tarafından değiştirilmiş olan ve peyzaj içerisinde katmanlar halinde izler bırakan desenler şeklinde kendini gösteren alanlardır. Bu katmanlar, doğal özelliklerle birlikte bir peyzaja tanımlayıcı, tarihi, estetik, sembolik ve akılda kalıcı karakterini kazandırır. Kültürel peyzajların tanımlanması, sahip oldukları değerleri korumak üzere gerekli politikaların geliştirilmesi ve zamanla meydana gelen mekânsal ve sosyal değişimin yönetilebilmesi ve sürdürülebilir kullanımlara olanak tanınabilmesi gerekmektedir (Lennon, 2015).

ICOMOS, Floransa Bildirgesi (2014) ile bir yandan kültürel peyzajların korunması gereken alanlar olarak algılanması gerektiğini vurgularken, diğer yandan sürdürülebilir gelişme stratejilerinin başarıyla uygulanabileceği yerler olma potansiyelini de özellikle ön plana çıkartmaktadır.

Doğal-kültürel bileşenler ve bunlar arasındaki işleyişler, kültürel peyzajların zaman-mekân boyutunda bütüncül arakesitler sunmasını sağlamakta ve bu yapı, sürdürülebilir kalkınma girişimleri için çok elverişli bir temel teşkil etmektedir.

Kültürel Peyzajların planlanmasında üzerinde durulması gereken iki önemli hedef bulunmaktadır (Hampicke, 2013)

- 1- Biyolojik çeşitliliğin korunması ve teşvik edilmesi,
- 2- İnsanların yaşam kalitesini ve konforunu artırarak sürdürülebilir kalkınmayı desteklemek.

Her iki hedefe de benzer yaklaşımlar ve stratejilerle ulaşılması mümkün olabilmektedir. Temel olarak geleneksel kültür peyzajlarını tehdit eden ve yıkıma neden olan kullanımların engellenmesi ve sürdürülebilirlik kapsamında yönetilmesi önem kazanmaktadır.

Biyolojik çeşitlilik, türler (flora-fauna) ve yaşama ortamları üzerinde etkili olan doğal-kültürel faktörlerle ilgili bir kavramdır ve sağlıklı yönetilebilmesi için bu çerçevede ele alınması gerekmektedir. Kültürel Peyzajlar, özellikle korunmaya değer, birbirleriyle potansiyel olarak yakın işlevsel bağlantı içinde olan ve dolayısıyla ekolojik ilişkileri temsil eden benzer, mekânsal olarak komşu habitatların sistemleridir.

Kültürel Peyzajlar, göstergesi oldukları bu doğal-kültürel bileşenler dolayısıyla doğa koruma ve peyzaj bakımı çalışmalarının odağında yer almaktadır. Bir yandan biyolojik çeşitliliğin şekillendiği mekanlar olarak barındırdığı değerlerle



birlikte ekosistem fonksiyonlarını yerine getirirken, diğer yandan somut olan ve somut olmayan kültürel mirasa ev sahipliği yapan ve insanların rekreasyon, estetik ve konfor ihtiyaçlarına da cevap veren mekanlar olarak algılanmaktadır. Koruma-kullanma ilişkilerinin arakesitinde yer almaları nedeniyle sınıflandırılmaları, korunmaları ve geliştirilmeleri büyük önem taşımaktadır. Almanya’da Kültürel Peyzajlar, bu özellikleri ile “Doğa Koruma Yasası” kapsamında tanımlanmakta ve önemli fonksiyonlar üstlenmektedir (Heiland vd., 2017).

Enerji potansiyelleri ve bunların kullanımına yönelik tercihler de kültürel peyzajların şekillenmesi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir (Demuth ve ark., 2014). Bu potansiyeller, aynı zamanda teknik altyapı ve enerji sistemlerinin peyzajın içerisine entegre edilebilmesi ve planlanması açısından da önem taşımaktadır (Hartz ve Brenner, 2017). Biyolojik çeşitliliğin korunması ve iyileştirilmesi bu potansiyeller konusunda sürdürülebilir kararlar alınıp alınmamasıyla doğrudan ilişkilidir. O nedenle potansiyelleri anlamak, kullanımlar ve doğal bileşenlerle ilişkilendirmek, sürdürülebilir peyzaj planlamasının önceliklerinden olmalıdır.

## 2.2. Peyzaj Ekolojisi ve Sürdürülebilirlik

Naveh (2001)’in bir dizi işlevi barındıran “Gestalt Sistemi” olarak tanımladığı peyzajların karmaşık yapısının bütüncül bir yaklaşımla anlaşılması ve bileşenler arasındaki önemli etkileşimlerin ortaya konulması, peyzajların doğru bir şekilde planlanıp yönetilmesinde önem taşımaktadır. Özellikle hızlı bir dönüşüm süreci içerisinde olan peyzajlarda habitatların hızla yok olması ve biyolojik çeşitliliğin azalması gibi tehditlerin önüne geçilmek isteniyorsa, peyzaj planlarına önemli roller düşmektedir. Bu sürecin sağlıklı bir şekilde yönetilmesi ise çevrenin sosyal ve kültürel bileşenlerle birlikte ele alınmasını gerektirmektedir. Bunun için doğa yasalarının, ekonomik süreçlerin ve sosyal karakteristiklerin ve bunlar arasındaki kompleks etkileşimlerin bir bütün olarak ele alınması; doğa-toplum etkileşimlerini belirleyecek kavramsal modellerin ve araçların geliştirilmesi gerekmektedir (Darmstad vd., 1996; Miller vd.; 1998; Steinhardt vd., 2005; Potschin ve Haines-Young, 2006; McHarg, 1992; Bailey, 2002; Suri, 2018; Kayacan vd., 2019).

Günümüzde “Sürdürülebilirlik Bilimi” sosyal, çevresel ve ekonomik konular arasındaki kompleks, dinamik etkileşimleri anlamaya çalışır (Kasemir vd., 2003). Sürdürülebilirlik; doğal veya kültürel, geleneksel veya çağdaş, gösterişli veya sıradan peyzajlarla ilgili olabilir. Bu konsept, köylerde veya kırsal peyzajlarda geleneksel tekniklerin sürdürülmesi şeklindeki çalışmalarda uygulanabileceği gibi, doğal peyzaj kalıntılarının veya yoğun kullanılan peyzajların arazi kalitesinin geliştirilmesiyle de ilgili olabilir, bu nedenle sürdürülebilirliğin peyzaj planlaması için temel prensip olarak ele alınması gerekir (Antrop, 2006). Dolayısıyla sürdürülebilir kalkınmanın temel bileşenleri, bütüncül bir planlama anlayışıyla ele alınmalıdır (Aksu, 2017). Bunun için peyzaja ait sosyal desenleri, kültürel desenlerle (insan grupları, onların etkileşimleri, onların mekânsal düzenlenişleri) birlikte sürece dahil edilmesi önem kazanmaktadır (Forman, 2008).

Ekosistemlerdeki bozulmaların eşik noktaları bulunmaktadır. Bu eşik aşıldığında, ekosistem kendini

yenileyemeyecek hale gelmektedir. Ancak bu eşik aniden belirmez. Ekosistemler indikatörler (göstergeler) vesilesiyle çok sayıda sinyal de verir. Peyzaj planlamasının kilit görevi, mekanların planlama ve tasarım aşamaları sırasında eşik noktasına henüz ulaşılmamışken bu sinyalleri yakalamak ve eşikler aşılmadan bozulmayı tersine çevirebilecek müdahalelerde bulunmaktır (Aksu, 2020).

Peyzaj planlamasının, disiplinler arası platformlarda yerini alabilmesi için, koruma önceliklerini ortaya koyan, ancak kullanma ihtiyacını da göz ardı etmeyen bir bakış açısını yansıtması gerekmektedir. Bu anlamda Peyzaj Planlaması, sosyal bilimlerle doğa bilimleri arasında köprü görevi gören yaklaşımlar sunabilmektedir. Özellikle Peyzaj Ekolojisi, peyzaj deseni ile peyzaj fonksiyonları arasındaki kompleks ilişkilerin bütüncül ve sürdürülebilir bir algıyla yönetilmesini sağlayan önemli bir çerçeve haline almıştır. Bu çerçevede, peyzaj desenleri metrikler yardımıyla değerlendirilebilmekte, peyzaj fonksiyonlarına odaklanan ekolojik göstergeler yardımıyla, ekolojik akışlar ve döngüler yorumlanabilmekte daha da önemlisi disiplinler arası katılımla doğal, sosyal ve kültürel bileşenler peyzaj planlama sürecine dahil edilebilmektedir.

## 2.3. BM ve AB’nin Sürdürülebilir Kalkınma ve Habitat Koruma Yaklaşımları

“Sürdürülebilir Kalkınma” kavramı, özellikle 80’li yılların başında “Ortak Geleceğimiz Çağrısının” (Brundtland Raporu), (UN, 1987) deklare edilmesiyle birlikte ivmelenecek hem Birleşmiş Milletlerin (BM) hem de Avrupa Birliği (AB)’nin ana gündem maddelerinden birisi haline gelmiştir. Sürdürülebilirliği sağlama gayesi, biyolojik çeşitliliğin korunması ve teşvik edilmesi hedefleriyle birlikte her geçen gün daha fazla önem kazanmaktadır.

1992 BM Rio Konferansı, özellikle “Çevre” ve “Kalkınma” konularına odaklanmış ve önemli çıktılar ortaya koymuştur. Bu çıktılardan olan Gündem 21 ve ona bağlı olarak şekillenen Yerel Gündem 21 hamlesi, bir eylem planı niteliği taşımaktadır ve bu anlamda önemli bir teşvik teşkil etmiştir. “Orman İlkeleri”, “İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi” (ve kapsamında imzalanan Kyoto Protokolü) ile “Biyolojik Çeşitlilik Sözleşmesi” gibi önemli metinlerin imzaya açılmış olması, konferansın küresel ölçekteki diğer hayati çıktıları olmuştur. 1994 yılında imzaya açılan “BM Çölleşme ile Mücadele Sözleşmesi” de yine Rio Konferansı’nda alınan kararlara göre şekillendirilmiştir.

2000’li yılların başlangıcına gelindiğinde, BM Binyıl Zirvesi (2000)’nde sürdürülebilir kalkınma adına küresel ölçekte önemli hedefler belirlenmiştir (Binyıl Kalkınma Hedefleri). Bu hedeflere göre sürdürülebilir çevre sağlama adına, sürdürülebilir kalkınma ilkelerinin ulusal mevzuatlarla uyumlu hale getirilmesi ve doğal-kültürel kaynakların korunması, biyo-çeşitliliğin geliştirilmesi, içme suyuna erişimin iki katına çıkarılması konuları değerlendirilmiştir. Rio Konferansı sonuçlarını değerlendirilmek ve Binyıl Kalkınma Hedeflerine uyarlamak üzere 2002’de, Johannesburg Dünya Sürdürülebilir Kalkınma Zirvesi düzenlenmiştir. 2012 yılında, Birinci Rio konferansından 20 yıl sonra yine Rio de Janeiro’da Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Konferansı (Rio+20) düzenlenmiş ve konferansın çıktısı olarak “İstedığımız Gelecek” adında, sürdürülebilir kalkınmaya kılavuzluk edecek sonuç belgesi kabul

edilmiştir. 2015 yılında ABD-New York'ta, Binyıl Kalkınma Hedefleri'ni tamamlayacak şekilde, "BM Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri (Gündem 2030)" kabul edilmiştir. Bu hedefler sayesinde sürdürülebilir şehirler, iklim değişikliği, kuraklıkla mücadele, biyolojik çeşitliliğin korunması gibi çevre konuları sürdürülebilir kalkınma gündemine alınmıştır. Özellikle Sürdürülebilir Kalkınma Hedeflerinde yer alan 11, 13, 14 ve 15 numaralı hedefler kültürel peyzajlarla doğrudan ilintilidir:

Hedef 11: Şehirlerin kapsayıcı, güvenli ve sürdürülebilir yapılandırılmasını;

Hedef 13: İklim değişikliği ve etkileriyle mücadele için acilen eyleme geçilmesini;

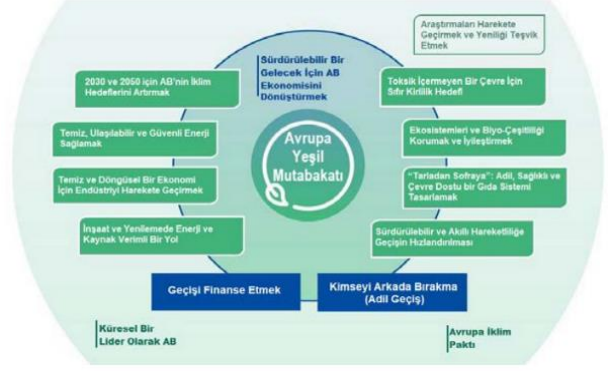
Hedef 14: Okyanuslar, denizler ve su kaynaklarının korunması ve sürdürülebilir kullanımını;

Hedef 15: Kara ekosistemlerinin korunmasını, iyileştirilmesini ve sürdürülebilir kullanımının teşvik edilmesini, sürdürülebilir orman yönetimini, çölleşmeyle mücadeleyi, arazi bozulmasının durdurulmasını ve geriye çevrilmesini, biyolojik çeşitlilik kaybının durdurulmasını öngörmektedir (T.C. Dışişleri Bakanlığı, 2021).

Avrupa Birliği de sürdürülebilir kalkınma, doğal-kültürel mirasın korunması, biyolojik çeşitliliğin korunması ve geliştirilmesi, enerji kaynaklarının verimli kullanılması, yenilenebilir enerji kaynaklarının geliştirilmesi ve teşvik edilmesi, küresel iklim değişikliğini tetikleyen etkenlere karşı önlem alınması, su kaynaklarının yönetimi ve verimli kullanımı konularında küresel bir algıyla önemli girişimlerde bulunmuştur. Başta Avrupa'nın biyolojik çeşitliliğini korumak ve geliştirmek üzere Avrupa Komisyonu tarafından Natura 2000 habitat ve tür koruma ağı oluşturulmuştur (Sundseth ve Creed, 2008). Bu ağ, 1979 yılında kabul edilen Yabani Kuşlar Yönergesinin devamı niteliği taşıyan Habitat Yönergesini odağına almakta ve Avrupa topraklarının yaklaşık %18'ini koruma altına almayı hedeflemiştir (COM, 2013). Natura 2000 Programı çerçevesinde Avrupa Birliği'ne üye ülkeler, kendi sınırları içindeki en önemli doğal yaşam alanlarını ve buralardaki bitki ve hayvan türlerini tespit etmekle görevlendirilmiştir. Ülkelerden toplanan bu listeler, Avrupa Komisyonu'nun ilgili makamlarınca değerlendirilerek, koruma altına alınması gerektiği düşünülen bölgeler Natura 2000'in koruma ağı kapsamına alınmıştır.

#### 2.4. Avrupa Yeşil Mutabakatı (The European Green Deal)

Günümüzde tüm bu çabaların devamı niteliği taşıyan "Avrupa Yeşil Mutabakatı", 2050 yılına kadar AB'yi net sera gazı emisyonlarının olmadığı ve ekonomik büyümenin kaynak kullanımından ayrıştırıldığı modern, kaynak açısından verimli ve rekabetçi bir ekonomiye sahip, adil ve müreffeh bir topluma dönüştürmeyi amaçlayan yeni bir büyüme stratejisidir. AB doğal sermayesini koruyup geliştirirken, aynı zamanda vatandaşların sağlığını ve refahını çevre kaynaklı risk ve etkilerden korumayı da amaçlamaktadır. Bu geçişin adil ve kapsayıcı olması önemsenmektedir (Avrupa Yeşil Mutabakatı, 2021).



Şekil 1. Avrupa Yeşil Mutabakatı genel çerçevesi (Avrupa Komisyonu, The European Green Deal 2021)

Birincil hedefi 2050 yılına kadar Avrupa iklimini ve emisyon oranlarını düzenlemek olan Avrupa Yeşil Mutabakatı (Avrupa Komisyonu, The European Green Deal 2021), aynı zamanda "Ekosistemlerin ve Biyolojik Çeşitliliğin Korunmasını ve İyileştirilmesini", bununla birlikte, "Sürdürülebilir ve Akıllı Hareketliliğe Geçişin Hızlandırılmasını" da ana gündem maddesi olarak belirlemiştir (Şekil 1).

Avrupa Komisyonunun 2020 yılına kadar biyolojik çeşitliliğin korunmasına yönelik belirlediği stratejinin temel amacı "Biyolojik çeşitlilikte yaşanan kayıpların ve ekosistem hizmetlerindeki gerilemelerin engellenmesi" olmuştur. Bu çerçevede gerileme gösteren ekosistemlerin 2020 yılına kadar asgari olarak %15 oranında iyileştirilmesi hedeflenmiştir (COM, 2011). Bu nedenle 2020 yılına kadar Natura 2000 ağıyla belli bir seviyeye getirilen biyolojik çeşitlilik ve ekosistemlerdeki koruma ve iyileştirme çabaları, Yeşil Mutabakat ile bir üst seviyeye taşınarak daha da yüksek hedeflerle geliştirilmesi planlanmıştır (Avrupa Komisyonu, The European Green Deal 2021).

Yeşil Mutabakat, Avrupa Birliğinin 2020 yılına kadar tüm Avrupa arazi örtüsü/arazi kullanımlarının %18'ini Natura 2000 ağı kapsamına alma hedefini; 2030 yılına kadar %30 oranına çekmeyi amaç edinmiştir. Bu hedefe ulaşmanın temelinde doğal-kültürel göstergelerden hareketle kültürel peyzajların, sahip oldukları kültürel değerler ve biyolojik çeşitlilik bakımından korunması, geliştirilmesi ve iyileştirilmesi yatmaktadır.

"Kültürel Peyzajlar"; çok sayıda ekosistem, habitat ve tür barındırma; kültürel faaliyetlerin zaman içerisinde etkilerini ve sonuçlarını yansıtmaya ve doğal-kültürel ilişkilerin tanımlanmasını sağlayan önemli göstergelere sahip olma özellikleriyle, peyzaj planlama çalışmalarının odağında yer almalıdır.

#### 2.5. Ekosistem Fonksiyonları

Ekosistem fonksiyonları Kültürel Peyzajların sınıflandırılmasında önemli bir rol üstlenmektedir. Ekosistem bozulması önemli yıkımlara ve kayıplara sebep olmaktadır. Daha iyi bir gelecek ve doğal kaynakların sürdürülebilirliğini sağlamak için kültürel müdahalelerin ve kullanımların, biyoçeşitlilik ve ekosistemler üzerindeki etkilerinin tespit edilmesi ve değerlendirmesi gerekmektedir. Peyzaj fonksiyonları, bu açıdan gösterge niteliği taşımaktadır. Başta bitki, hava, su ve toprak ilişkileri olmak üzere, peyzaj içerisinde

cereyan eden çok sayıda süreç, işleyiş ve etkileşim, peyzaja dair karakteristik değerleri teşkil etmektedir.

Ekosistemlerin sunduğu çeşitli fonksiyonlar, sosyal ve ekonomik sistemlerle ilişkilendirildiğinde, fayda ve değer arasındaki ilişkilere bağlı olarak değişimi tetiklediği görülmektedir. Dolayısıyla sahip olduğu ekosistem fonksiyonları, Kültürel Peyzajların şekillenmesinde de etkili olmaktadır (Avrupa Çevre Ajansı, 2021). Bu karşılıklı etkileşimlerin değerlendirilmesi koruma-kullanma dengeleri ve özellikle sürdürülebilir kalkınma hedefleri açısından önem taşımaktadır.

Ekosistem fonksiyonlarının sınıflandırılmasında çok sayıda yaklaşım bulunmaktadır (Heiland vd., 2017). En yaygın kullanılanlar, Milenyum Ekosistem Değerlendirmesi (Millenium Ecosystem Assessment – MA, 2005), Uluslararası Biyolojik Çeşitlilik ve Ekosistem Ekonomisi Araştırması (The Economics of Biodiversity and Ecosystems – TEEB, 2010), Müşterek Uluslararası Ekosistem Hizmetleri Sınıflandırması (The Common International Classification of Ecosystem Services – CICES, Haines-Young ve Potschin, 2013) ve Almanya için Bastian vd. (2013) tarafından tanımlanmış olan sınıflandırma sistemidir. Farklı peyzaj tiplerine göre değişebilmekle birlikte, özünde ekosistemlerdeki madde ve enerji hareketini şekillendiren süreçler olarak tanımlanan ekosistem fonksiyonları; (1) hidrolojik akış ve depolama, (2) biyolojik üretkenlik, (3) biyokimyasal döngü ve depolama, (4) ayrışma ve (5) biyolojik çeşitliliğin korunması konularını kapsamaktadır (Christensen ve Franklin, 1997). Bu noktada dikkati çeken husus, insanoğlunun doğrudan veya dolaylı olarak doğadan sağladığı yararların ekonomik değer olarak belirlenmesine dayanan ekosistem hizmetlerinin, ekosistem fonksiyonları doğru tanımlanmadığı sürece sosyo-ekolojik sistemlerdeki karmaşık etkileşimi basite indirgeme riski taşıdığıdır (Birkhofer vd., 2015). Dolayısıyla ekosistem fonksiyonlarının belirlenmesinin, ekosistem hizmetleri konseptini sıkça eleştirildiği gibi indirgemeci bir yaklaşım olmanın ötesine taşıyarak ve doğal süreçlerin karmaşıklığı ile bunların sosyo-kültürel süreçlerle etkileşimini anlamada anahtar role sahip olduğu konusuna vurgu yapılmaktadır (Saunders ve Luck, 2016).

Ekosistem hizmetlerinin peyzaj planlama ile olan ilişkisi konusunda Schrapp vd. (2020)'nin gerçekleştirdiği kapsamlı çalışmaya göre, ekosistem hizmetlerinin özellikle belediye ve bölge düzeyinde peyzaj planlamaya entegre edilmesi gerekmektedir. Bu katkının özellikle ekosistem fonksiyonlarının belirlenmesi ve ekosistem için kritik olan ilişkilerin ortaya konması yönünde olması önem taşımaktadır.

Dicks (2008), 2010 yılı dünya nüfusunu referans alarak, dünya kaynaklarının kullanım göstergesi olan ve kullanılan bütün yiyecekleri, yakıtları ve malzemeleri yetiştirmek için ihtiyaç duyulan arazinin miktarı olarak tanımlanan “Ekolojik Ayak İzi” için kişi başı 1,8 ha sürdürülebilirlik sınırı belirlemiştir. Aynı dönemde kişi başı 2,2 ha olarak tespit edilen dünya ortalaması, sürdürülebilirlik sınırının üstünde çıkmıştır. Dünya nüfusunun her geçen gün arttığı göz önünde

bulundurulduğunda arazi kullanım baskısının, dolayısıyla ekolojik ayak izinin de artması kaçınılmaz görünmektedir. Önemli olan günümüz eko-ekonomi imkanları doğrultusunda hesaplama olanağı bulunan koruma-kullanma dengelerinin gözetilerek planlama ve tasarım kararlarına yansıtacak tedbirlerin alınmasıdır.

Gerek ekosistem hizmetlerinin gerekse ekosistem fonksiyonlarının tespiti ve değerlendirilmesi çabalarının odağında ekosistem sağlığı yer almalıdır. Ekosistem sağlığının sürdürülebilirliği ise ancak sistemli bir planlama süreciyle sağlanabilmektedir. Öncelikle ekosistemlerin bileşenleri, işleyişleri ve diğer ekosistemlerle etkileşimleri ve bu etkileşimlerde meydana gelen problemler tespit edilmelidir. Biyolojide hiyerarşi düzeni basamaklarına göre ekosistemleri kapsayan bir kademe olarak “Peyzaj”, ekosistem sağlığını algılama, değerlendirme ve planlama açısından son derece kapsayıcı ve uygun bir ölçek teşkil etmektedir. Özellikle kültürel peyzajların, sundukları ekosistem fonksiyonları bakımından da değerlendirilmesi, yerel, bölgesel ve hatta ulusal ölçekte sürdürülebilir kalkınma stratejilerinin geliştirilmesine, dolayısıyla ekosistem sağlığına önemli katkılar sağlamaktadır.

Ancak bu yaklaşımlarda ihmal edilmemesi gereken başlıca unsur, özellikle kültürel etkenlerle şekillenen “Kültürel Peyzajlar” söz konusu olduğunda, başlıca tetikleyici ve kullanıcı konumundaki insanın kendisidir.

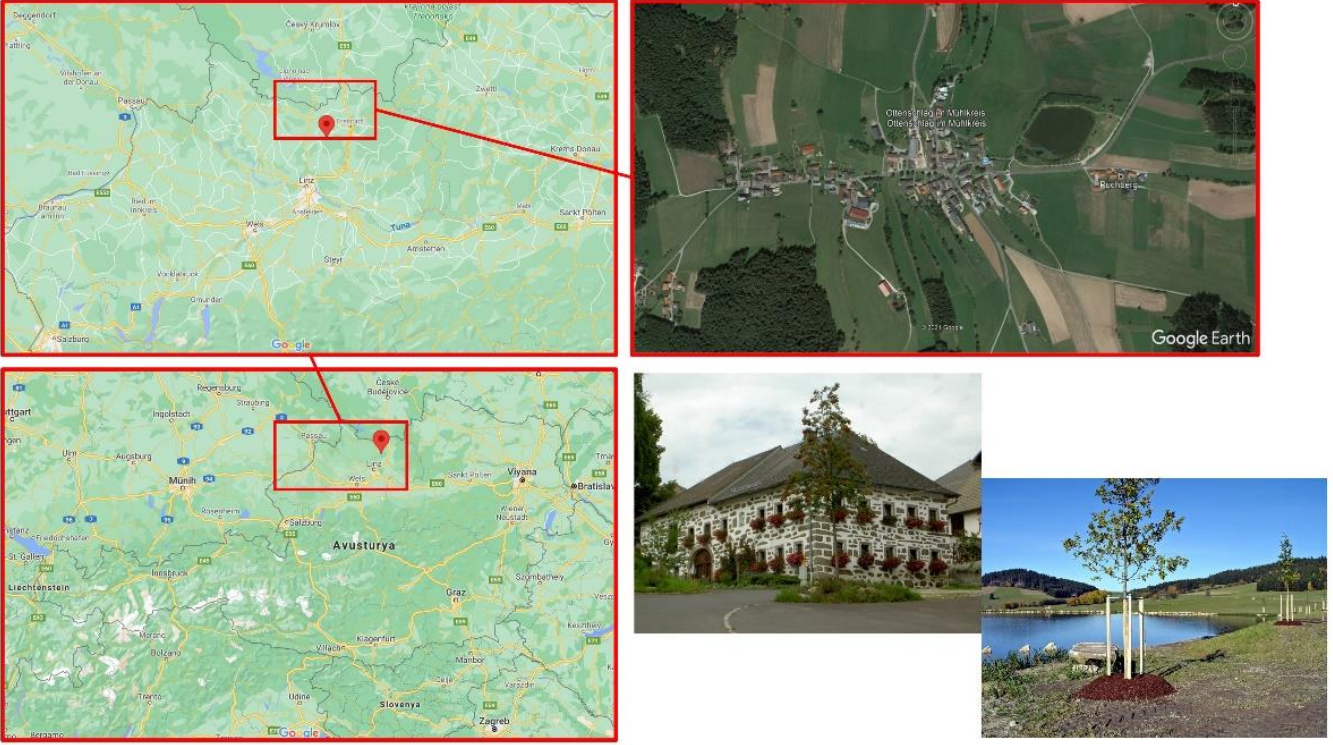
Yukarıda anlatılan özelliklerinden yola çıkılarak Kültürel Peyzajların planlanması ve restorasyonu konularında örnek olarak seçilmiş olan “Ottenschlag Köyü Sürdürülebilir Kalkınma ve Mooswiesen Biyolojik Göleti Projesi”nin uygulama süreci, kapsamlı olarak değerlendirilmiştir.

### 3. Materyal ve Metot

Konuyla ilgili gerçekleştirilen çok sayıda ar-ge çalışması olmasına rağmen, sürdürülebilir kalkınmaya bütüncül bir yapıda katkı sağlayacak örnek uygulama projeleri, literatürde çok fazla yer bulamamaktadır. Oysaki çok bileşenli olan sürdürülebilir kalkınma kavramının, uygulama sürecine dönüştürülmesi önemli göstergeler içermektedir. Bu nedenle literatürde daha fazla örneğin yer alması; benzer uygulama projeleri ve konuyla ilgili ar-ge çalışmalarına örnek teşkil etmektedir. Bu zorlu sürecin başarıyla yönetildiği “Ottenschlag Köyü Sürdürülebilir Kalkınma ve Mooswiesen Biyolojik Göleti Projesi”nin planlama ve uygulama süreci bu makaleye konu edilmiştir.

#### 3.1. Projenin Kapsamı ve Genel Özellikler

Avusturya Mühlkreis'teki Ottenschlag Belediyesi ile Sterngartl-Gusental Turizm Bölge Müdürlüğü işbirliğinde, planlanması ve uygulaması TBK-Kutzenberger tarafından gerçekleştirilen Mooswiesen biyolojik göleti, 2,5 ha su yüzeyine, geniş bataklık zonlarına ve 350 mtül dere yatağı restorasyon sahasına sahiptir (Şekil 2). Toplam proje sahası 5 ha büyüklüktedir.



**Şekil 2.** Mooswiesen Biyolojik Göleti, Yukarı Avusturya'daki Mühlkreis Ottenschlag Köyü kalkınma projesinin önemli bir bileşeni olarak bir yandan rekreatif faaliyetlere olanak tanırken, diğer yandan yörenin su yönetimine ve biyolojik çeşitliliğine katkı sağlamaktadır.

Doğala yakın düzenleme prensiplerine göre tesis edilen uygulama alanı, bir yandan rekreasyonel ihtiyaçlara cevap verirken, diğer yandan biyolojik çeşitliliği arttıracak nitelikte tasarlanmıştır. Gölet sahasına altı adet kaya bahçesi, yöresel ve tarihi meyve ağaçlarından oluşan bir ağaç allisi ve dinlenme alanları eşlik etmektedir.

### 3.2. Sürdürülebilir Köy Kalkınması

Ottenschlag Köyü Projesi, sürdürülebilir kalkınmaya yönelik temel prensiplerden olan halk ve paydaş katılımını benimsemiş ve uygulama sürecine dahil etmiş olan bir projedir. Öyle ki tüm karar verme süreçlerinde yerel yönetimlerle birlikte halk katılım toplantıları düzenlenmiş ve paydaşlardan görüş alınmıştır. Bu yönüyle sürdürülebilir köy kalkınmasına örnek teşkil edebilecek niteliktedir. Aynı zamanda çok yönlü bir çevre projesi olan proje; doğa koruma, turizm, rekreasyon ve su yönetimi fonksiyonlarını entegre etmektedir.

Biyolojik gölet tercihi hem doğal koşulların uygunluğu (göleti besleyecek derenin varlığı, su baskınlarına karşı tedbir alınma gerekliliği, topoğrafyanın ve arazi örtüsünün uygunluğu vb.) hem de köy kalkınması için gerekli olan ekonomik itiş gücü göz önünde bulundurularak yapılmıştır. Bu kapsamda köydeki yapısal yüzeylerin (sert zeminler, köprü benzeri donatılar vs.) bakımı ve onarımı, ayrıca yapısal malzemede bütünlük ve uyumu sağlamak üzere, yörede yatakları bakımından zengin olan granit taş kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yöre halkı tarafından yapıların inşasında da granit taş malzemenin tercih edilmiş olması, malzemenin bütünlüğü sağlamak üzere kullanılmasını desteklemiştir. Köy yerleşim alanı içerisinde, ekonomik girdi sağlayabilmek ve ziyaretçi çekebilmek üzere yapılardan birinin

hem eski çiftlik araç gereçlerinin sergilendiği bir müze hem de restoran olacak şekilde tahsis edilmiş olması, ziyaretçi potansiyelini arttırmıştır. Gerek Yukarı Avusturya'nın kendi şehirleri arasında, gerekse Linz ile Viyana şehirleri arasında merkezi bir konumda yer alan köy, gelir geçerler için bir uğrak noktası olabilecek durumdadır (Şekil 3,4).



**Şekil 3.** Ottenschlag Köyü, granit yatakları zengin olan bir bölgede yer aldığı için köy evlerinin de baskın malzemesi olan granit taş, çevre düzenlemesinde de temel yapısal malzeme olarak tercih edilmiştir.



**Şekil 4.** Gelir geçerlere restoran hizmeti vermek suretiyle köyün ziyaretçi potansiyelini arttıran yapılar.

Proje, bölgeye özgü doğal, kültürel karakteristik peyzaj bileşenlerinin çeşitliliğinin artırılmasına da odaklanmaktadır. Çeşitlilik sergileyen ve farklı strüktürlerde tasarlanan habitatlar, insan faaliyetleri neticesinde zarar gören ve yaşam alanları daralan hayvan ve bitki türlerini teşvik etmektedir (Şekil 5).



**Şekil 5.** Fauna çeşitliliğini arttırmak üzere yemiş veren sık dallı çalılar, köyün çevre düzenlemesinde tercih edilmiştir. Özellikle kertenkele gibi sürüngenler ve küçük memeliler için barınak teşkil etmesi için daha iri blok taşlardan inşa edilen tepcecikler, manzara noktalarına yerleştirilerek eş zamanlı olarak rekreasyona da hizmet etmektedir.

Tasarlanan mekanlar, hem Mühlkreis Peyzajının karakteristiklerini ön plana çıkartarak ziyaretçilere tanıtmakta hem de rekreasyon ve doğa deneyimi için fırsatlar sunmaktadır. Doğa gözlemi, yaban meyve ve yemişlerin dalından koparılması gibi faaliyetler bu deneyimlerden sayılabilir. Bununla birlikte onlarca yıldır kanala alınmış halde atıl durumda kalan Grاسبach Deresi, yapılan düzenleme ve restorasyon sayesinde hem ekolojik hem de estetik açıdan değer kazanmıştır (Şekil 6).



**Şekil 6.** Köyle ilişkilendirilmeden kanal ve borularla drene edilen Grاسبach Deresi, proje sayesinde biyolojik göleti besleyen bir su sistemi olarak restore edilmiştir.

### 3.3. Mooswiesen Biyolojik Göleti Tasarım ve Uygulama Süreci

Öncelikle biyolojik gölet için tercih edilen arazinin gerek topoğrafya gerek geçirimsizlik gerekse toprak tipi ve strüktürü bakımından gölet oluşturmak üzere son derece uygun olduğu tespit edilmiştir. Toprak, geçirimsizliği düşük ve killi karakterdedir. Bu sayede gölet daha düşük maliyetlerle tesis edilebilmiştir. Öyle ki göletin tesisi için ilave izolasyon malzemesine ihtiyaç duyulmamıştır (Şekil 7). Başta yağış miktarı, Grاسبach Deresinin debisi, toprak özellikleri ve infiltrasyon kapasitesi gibi parametreler; ortalama ve ekstrem değerler üzerinden değerlendirilerek göletin hacmi ve alanına karar verilmiştir. Bu kapasite hesaplamaları neticesinde göletin, 2,5 ha'lık bir su yüzeyine sahip olması kararlaştırılmıştır.

e-ISSN: 2148-2683



**Şekil 7.** Yapılan kapasite hesaplarından sonra biyolojik göletin kazı ve tesviye işlemlerine başlanmıştır.

Habitat ve tür çeşitliliğini teşvik etmek üzere yöredeki doğal sulak alanlardan temin edilen bitki kökleri kıyılara dikilmiştir. Sudaki oksijen miktarını arttırmak üzere, özellikle oksijen bağlama kapasitesi yüksek olan türler ayrıca temin edilerek bitkilendirme tasarımına dahil edilmiştir (Şekil 8,9).



**Şekil 8.** Gölet tesis edildikten sonraki yılda göl kenarında gelişen su kenarı habitatı.



**Şekil 9.** Göl kenarında ve suyun içinde tercih edilen bitki türlerinde özellikle suyu temizleme, habitat teşkil etme ve yörenin vejetasyonuna uyum kriterleri göz önünde bulundurulmuştur (*Sparganium* sp., *Lemna* sp. vb.)

Gölet tasarımında göz önünde bulundurulmuş bir diğer önemli konu zonlama olmuştur. Göletin bir yandan rekreasyon faaliyetlerine hizmet ederken diğer yandan biyolojik çeşitliliği arttıracak unsurları barındırması öngörüldüğü için tasarım aşamasında farklı fonksiyonların ön planda tutulduğu bir zonlama yapılmıştır. Su içi, kıyı, bataklık ve su kenarı zonlarını tercih eden bitki ve hayvan türleri için uygun yaşama ortamları oluşturulmuştur. Göleti besleyen derenin bağlantı noktalarından itibaren, suyun akışı farklı derinliklerde bölmelerle kontrol edilerek bu farklı zonların uygulaması gerçekleştirilmiştir. Su içi, su kenarı ve bataklık zonu bitkilerinin dikileceği bölmelerin zeminine, organik madde bakımından zengin materyal serilmiştir

(Şekil 10). Rekreasyon faaliyetleri için kullanılacak olan geniş bölmeye organik madde ilavesi yapılmamış, doğal kil zemin muhafaza edilmiştir.



**Şekil 10.** Su içi, kıyı, bataklık ve su kenarı zonlarını tercih eden bitki ve hayvan türleri için uygun yaşama ortamları oluşturmak üzere tasarlanan alt mekanlar.

Gölde yüzmek ve sandalla gezmek gibi diğer rekreasyonel faaliyetlere tahsis edilmek üzere tasarlanan bölümde, kumdan küçük bir kıyı bandı oluşturulmuş ve yüzmek üzere güvenli olan bölge, yöreden temin edilen kayalarla sınırlandırılmıştır (Şekil 11).



**Şekil 11.** Biyolojik göletin rekreasyonel faaliyetler için ayrılmış olan bölmesi ve küçük bir kumsalla ilişkilendirilmiştir.

Projeden önce atıl bir halde, borularla ve kanallarla Ottenschlag Köyü'nden tahliye edilen Grasbach Deresi projelendirme sürecinde göleti besleyen ana bileşen olarak restore edilmiş ve yer yer göletin bölmeleriyle ilişkilendirilen kısımlara borularla taşınarak, uygulama tamamlandıktan sonra, dolun noktaları habitatların içerisine kamufle edilmiştir (Şekil 12). Dere 350 mtül boyunca restore edilmiş ve göl ekosisteminin bir bileşeni haline getirilmiştir.



**Şekil 12.** Doğal akışına terk edilerek restore edilen Grasbach Deresi, biyolojik göleti beslemek üzere değerlendirilmiştir.

Bölgenin önemli sorunlarından olan su taşkınlarının önlenmesi, projenin birincil hedefleri arasında yer almıştır. Gölet, orta eğimli bir yamaçta yer alan köyün devamında, topoğrafyanın çanak şeklini aldığı düzlükte konumlandırılarak, fazla yağış sularını burada depolaması sağlanmıştır. Ekstrem yağışların kontrollü olarak deşarj edilmesini sağlamak üzere ise belli bölgelerde tahliye noktaları oluşturulmuştur (Şekil 13).



**Şekil 13.** Gölette suyun istenen düzeyden fazla yükselmesini engelleyen ve taşkınların oluşmasını önlemek üzere fazla suyun uzaklaştırıldığı deşarj noktası.

Sürdürülebilir kalkınma prensiplerinin benimsendiği projede, dikkat edilen bir diğer husus da imalatların mümkün olduğunca köy halkına öncelik verilerek yaptırılması olmuştur. Örneğin doğa gözlemi faaliyetleri için tasarlanan ahşap iskelenin üretimi, köy sakini olan marangoza yaptırılmıştır (Şekil 14). Keza işçilik, taş ustalığı benzeri iş kalemleri için köy sakinlerinden destek alınmıştır. Bu yaklaşım ile proje için yapılan harcamaların köy ekonomisini desteklemesi sağlanmıştır.





Şekil 14. Köy sakini olan marangoza yaptırılan iskele, doğa gözlemleri için uygun bir mekân teşkil etmektedir.

Başta kertenkele benzeri sürüngenler ve küçük memeliler için yaşam ortamı teşkil etmesi için tasarlanan ve büyük blok taşların istiflenmesiyle oluşturulan tepeciklere yine doğal taşlardan basamaklar eklenerek aynı zamanda ziyaretçiler için manzara seyir amacıyla kullanılması sağlanmıştır (Şekil 15). Bu sayede gölet için yapılan kazılarda açığa çıkan blok taşlar ve kayalar da projenin bir parçası olarak değerlendirilmiştir.



Şekil 15. Gölet kazısı sırasında açığa çıkan blok taşlar ve kayaların üst üste istiflenmesiyle oluşturulan ve göletin etrafında çeşitli yüksekliklerde olmak üzere altı noktada konumlandırılan ve kara bitkileriyle bitkilendirilen tepecikler, bir yandan ziyaretçiler için manzara seyir amaçlı kullanılırken diğer yandan sürüngenler ve küçük memeliler için yaşama ortamı teşkil etmektedir.

Kültürel peyzajlar, geleneksel karakteristiklerle beslenen yapılar olduğu için sürdürülebilir kalkınmayı ve biyolojik çeşitliliği desteklemek üzere yapılan peyzaj uygulamalarında, kültürel yapıyı yansıtacak unsurlara yer verilmesi de önem kazanmaktadır. Bu nedenle göl kenarında oluşturulan yürüyüş yoluna gölge sağlaması için planlanan allede, yöresel meyve ağacı türleri tercih edilmiştir (Şekil 16-d). Bu tercih bir yandan ziyaretçilere yörenin karakteristik yapısını tanıtırken diğer yandan geleneksel dokunun yaşatılmasına da hizmet etmektedir.

Bir yıl içerisinde projelendirme ve uygulama süreci tamamlanan peyzaj projesi, köy kalkınması ve sürdürülebilir planlama adına yöreye önemli bir katma değer sağlamıştır. Projelendirme ve uygulama süreci, 2007-2008 yılları arasında gerçekleştirilmiş ve %100 oranında tamamlanmış olan projenin ayrıntılarına aşağıda yer verilmiştir:

Uygulayıcı Firma: TBK - Büro für Ökologie und Landschaftsplanung (AT) (URL-2).

#### Proje Ekibi:

Univ.-Lektor Dipl.-Ing. Dr. Harald Kutzenberger (TBK adına ekoloji ve peyzaj planlamadan sorumlu uzman): Koordinasyon, tasarım, inşaat sırasında saha gözetimi, kontrol.

Peyzaj Yük. Mimarı Gül Aslı Aksu: Tasarım ve CAD, inşaat sırasında gözetim, kontrol.

Dr. Gabriele Kutzenberger: Tasarım, çevre eğitimi.

Wolfgang Marthe: CAD, inşaat sırasında gözetim.

## 4. Tartışma ve Sonuç

Günümüzde ekosistem bozulmaları; yerel, bölgesel, ulusal ve hatta küresel ölçekte etkilerini göstermektedir. Su rejimi bozulmakta, kaynaklar tükenmekte, hava-toprak-su kirliliği ve buna bağlı sağlık problemleri artmakta, biyolojik çeşitlilik azalmakta, türler ve habitatlar tükenmektedir. Tüm insanlığı ilgilendiren bu problemin aşılması ve dünya doğal-kültürel kaynaklarının sürdürülebilirliğinin sağlanması için özellikle mekânsal planlama ve tasarımla uğraşan disiplinlere önemli sorumluluklar düşmektedir. Küresel boyuta varabilen sorumluları nedeniyle çevrenin sürdürülebilir planlaması ve yönetimi konuları Birleşmiş Milletler, Avrupa Birliği gibi uluslararası organizasyonların da ana gündem maddesi haline gelmiştir. Konuyla ilgili imzalanan ve ülkemizin de taraf olduğu çok sayıda sözleşme (APS, Biyolojik Çeşitlilik, İklim Değişikliği vb.) ülkelere ayrıca yasal anlamda da önemli sorumluluklar yüklemektedir.

Kültürel peyzajlar, doğal-kültürel karakteristikler gereği sürdürülebilir planlamaya yön verecek önemli ipuçları barındırmaktadır. Bu nedenle gerek peyzaj planlama ve yönetimi gerekse tasarım süreçlerini başarıyla yönetmek üzere ele alınması gereken yapılarıdır.

Kültürel peyzajlar, ekosistem fonksiyonları ile kullanıcı arasında köprü görevi görmektedir. Bu nedenle kültürel peyzajların sürdürülebilirlik ilkeleri çerçevesinde planlanması ve düzenlenmesi; yerel, bölgesel, ulusal ve hatta uluslararası ölçekte ekosistemlerin korunması, biyolojik çeşitliliğin artırılması ve kullanıcı ihtiyaçlarının gözetilmesi anlamında önemli bir adım taşı teşkil etmektedir.

“Avrupa Peyzaj Sözleşmesi”, “Yeşil Mutabakat” gibi habitatların korunmasını, geliştirilmesini ve sürdürülebilir kullanımlarının sağlanmasını hedefleyen ve düzenleyen

uluslararası çerçeveler, peyzaj planlama disiplinine önemli sorumluluklar yüklemektedir. Sürdürülebilir peyzaj planlama ve yönetimi süreci çok bileşenli kompleks bir yapının bütüncül bir bakış açısıyla ele alınmasını gerektirmektedir. Bu anlamda doğal ve kültürel karakteristiklerin iyi değerlendirilmesi ve bileşenler arası ilişkilerin anlaşılması önem kazanmaktadır.

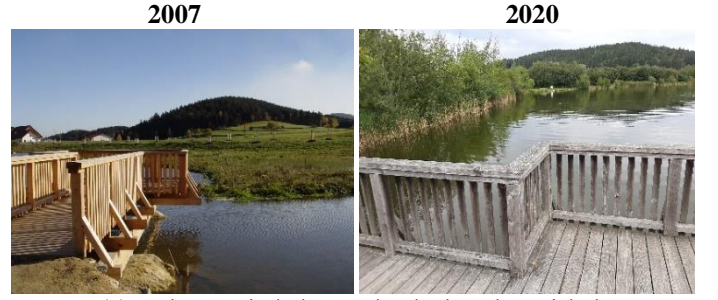
“Ottenschlag Köyü Kırsal Kalkınma ve Mooswiesen Biyolojik Göleti Projesi”, tüm bu bileşenlerin bir bütün olarak değerlendirildiği ve koruma-kullanma dengesinin gözetildiği, sürdürülebilir çözüm önerilerinin getirildiği bir örnek olduğu için makaleye konu edilmiştir (Şekil 16).



Şekil 16. Ottenschlag Köyü ve Mooswiesen Biyolojik Göleti Peyzaj Projesi. Kaynak: URL-1

Projenin tasarım ve uygulama süreçlerinde sürdürülebilirlik kriterleri doğrultusunda öncelik verilen konular aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Projenin gelişim sürecinin her aşamasında paydaş katılımı sağlanarak, kullanıcı ihtiyaçları gözetilmiştir.
- Projenin tüm aşamalarında yöre halkına istihdam sağlanması için fırsatlar sunulmuştur.
- Doğal potansiyeller fırsata çevrilirken, yapılan düzenlemelerle koruma-kullanma dengesi kurulmuştur.
- Gölet tasarımında ekolojik döngülerin desteklenmesi ve biyolojik çeşitliliğin geliştirilmesi hedeflenmiştir. Hem taşkın ve sel felaketlerinin önüne geçebilecek nitelikte bir deşarj sistemi hem de yağış sularının hasadını sağlayan bir rezervuar alanı oluşturulmuştur.
- Biyolojik göletin zonlara ayrılarak farklı yoğunluklarda bitkilendirilmesi ve su seviyesinin kademeli tutulmasıyla, çeşitli habitatlar oluşturulmuş ve böylelikle biyolojik çeşitlilik artırılmıştır.
- Su ekosistemi dışında uygun yerlerde bitkilerin besin kaynağı ve barınma ortamı teşkil etme özelliklerine öncelik verilerek, kaya bahçesi, meyve ağacı alleesi, otsu ve odunsu karasal habitatlar kurgulanmıştır.
- Kırsal kalkınma projesi bir yandan doğa gözlemi, yüzme, sandalla gezme, manzara seyir, doğa yürüyüşü, dalından meyve toplama vb. rekreasyonel faaliyetlere imkan tanırken diğer yandan ziyaretçi çeken faaliyetlerin artırılmasıyla köye ekonomik girdi sağlayabilmiştir.
- Yapısal tasarımda hem yörenin karakteristik yapısını yansıtmak hem maliyeti düşürmek hem de bütünlük sağlamak açısından yörede doğal olarak bulunan granit tercih edilmiş yapı cepheleriyle uyum sağlayacak şekilde yol-kaldırım döşemesi, köprü malzemesi olarak kullanılmıştır.



(a) Gölet üzerinde konumlandırılan ahşap iskele.



(b) Rekreasyonel kullanımlara olanak veren geniş gölet yüzeyi.



(c) Biyolojik çeşitliliği arttırmak üzere tesis edilen bataklık zonu.



(d) Yöreye özgü geleneksel meyve ağaçlarıyla oluşturulan allee.



(e) Genel görünüm

Şekil 17. 2008 yılında uygulaması tamamlanan projenin 2020 yılındaki haliyle karşılaştırma yapıldığında, oluşturulan ekosistemlerin işlevselliğini sürdürdüğü görülmektedir.

Şekil 17'de projenin uygulandığı 2007 yılındaki durumu, 2020 yılındaki haliyle karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Yapılan bu karşılaştırma, sürdürülebilir kalkınma kriterleri benimsenerek uygulanan projenin, aradan geçen 13 yıla rağmen gerek ekosistem devamlılığı ve biyotop oluşturma kriterleri, gerek su yönetimi gerekse rekreasyon potansiyeli bakımından işlevselliğini sürdürdüğünü göstermektedir.



## 5. Teşekkür

Gerçekleştirdiği çok sayıda sürdürülebilir kalkınma, peyzaj onarımı ve restorasyonu, peyzaj planlama ve yönetimi projesiyle peyzaj planlama mesleğine önemli katkılar sağlayan ve arşivini açmak suretiyle bu yayının hazırlanmasına destek olan başta Dipl.-Ing. Dr. Harald Kutzenberger'e ve tüm TBK Ofis (URL-2) çalışanlarına teşekkürü borç bilirim.

## Kaynakça

- Aksu, G.A., (2017). İstanbul-Beşiktaş İlçesi Ekolojik Planlama Yaklaşımlı Kentsel Peyzaj Planı ve Uygulama Stratejisi. TUBITAK-ARDEB 3501 kariyer Geliştirme Programı, proje No: 114-O-341, Proje Sonuç Raporu, 5.Bölüm (Tartışma ve Sonuç).
- Aksu G.A., (2020). "Kentsel Peyzaj Planlama Yaklaşımları ve Peyzaj Kimliği." Kitap: Kentsel Peyzaj Planlama ve Sürdürülebilirlik. Ed.: Aksu, G.A. ve Suri, L., Cinius Yayınları. ISBN 978-625-7113-49-6
- Antrop, M., (2006). "Sustainable Landscapes: Contradiction, Fiction or Utopia?" Landscape and Urban Planning, 75, S: 187-197.
- Avrupa Peyzaj Sözleşmesi (APS), (2003). Avrupa Peyzaj Sözleşmesinin Onaylanmasının Uygun Bulunduğuna Dair Kanun. Türkiye Büyük Millet Meclisi Kanun No. 4881 Kabul Tarihi: 10.6.2003
- Avrupa Çevre Ajansı, (2021). <https://www.eea.europa.eu/soer/2015/europe/natural-capital-and-ecosystem-services#note3> Son erişim tarihi: 26.02.2021
- Avrupa Komisyonu, (1995). Recommendation on the integrated conservation of cultural landscape areas as part of landscape policies (Peyzaj Politikalarının Bir Parçası Olarak Kültürel Peyzaj Alanlarının Bütünleşmiş Korunması Tavsiye Kararı) (95/9)[https://www.icomos.org/centre\\_documentation/coe\\_en\\_g.htm](https://www.icomos.org/centre_documentation/coe_en_g.htm)  
<https://rm.coe.int/CoERMPublicCommonSearchServices/DisplayDCTMContent?documentId=09000016804fd025>
- Avrupa Komisyonu, The European Green Deal, (2021). [https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal\\_en](https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en) Son erişim tarihi: 26.02.2021
- Avrupa Yeşil Mutabakatı Türkçe Çevirisi. <http://yesildusunce.org/dl/uploads/yesilavrupamutabakati.pdf> f Son erişim tarihi: 26.02.2021
- Bailey, R.G., (2002). Ecoregion-Based Design for Sustainability. Springer-Verlag New York, ISBN 0-387-95430-9
- Bastian, O., Grunewald, K., Syrbe, U., (2013). "Klassifikation von ÖSD." Kitap: Ökosystemdienstleistungen, Ed.: Grunewald, K. ve Bastian, O., Springer Verlag Berlin Heidelberg. S.:48-56.
- Birkhofer, K., Diehl, E., Andersson, J., Ekroos, J., Früh-Müller, A., Machnikowski, F., Mader V.L., Nilsson, L., Sasaki, K., Rundlöf, M., Wolters V., Smith, H.G., (2015). "Ecosystem services—current challenges and opportunities for ecological research." Frontiers in Ecology and Evolution 2, Article 87: 1-10.
- Christensen N.L. ve Franklin J.F., (1997). "Ecosystem Function and Ecosystem Management." Kitap: Ecosystem Function & Human Activities. Ed.: Simpson R.D. ve Christensen N.L., Springer, Boston, MA.
- COM – Commission of the European Communities, (2011). Our life insurance, our natural capital: an EU biodiversity strategy to 2020. Communication from the commission to the European parliament, the council, the economic and social committee and the committee of the regions. Brussels, 3.5.2011; COM (2011) 244 final. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52011DC0244&from=de>
- COM – Commission of the European Communities, (2013). Guidelines on Climate Change and Natura 2000. Dealing with the impact of climate change. On the management of the Natura 2000 Network of areas of high biodiversity value. Technical Report – 2013 068. <http://ec.europa.eu/environment/nature/climatechange/pdf/Guidance%20document.pdf>
- Darmstad, W.E., Olson, J.D., Forman, R.T.T., (1996). Landscape ecology principles in landscape architecture and land-use planning. USA: Harvard University Graduate School of Design, Island Press, American Society of Landscape Architects. ISBN 1-55963-514-2.
- Demuth, B., Heiland, S., Wiersbinski, N., Hildebrandt, C., (2014). Energielandschaften – Kulturlandschaften der Zukunft? Bundesamt für Naturschutz, BfN-Skripten 364, Almanya.
- Dicks, L., (2008). Giriş ve Ilıman Ormanlar. Kitap: Dünya Önemlidir. Bir Ekoloji Ansiklopedisi. Ed: DeRotschild, D., Türkçe Yayın Yönetmeni: Çam, İ.A., Çeviri: Türer, L., Dorling Kindersley Limited, Londra, Tudem, İzmir. ISBN: 978-9944-69-311-0.
- Forman, R.T.T., (2008). Urban Regions. Ecology and Planning Beyond the City. Cambridge University Press, UK., ISBN-13: 978-0-521-67076-0 (PB).
- Haines-Young, R. ve Potschin, M., (2013). Common International Classification of Ecosystem Services (CICES): Consultation on Version 4, August-December 2012. EEA Framework Contract No: EEA/IEA
- Hampicke, U., (2018). Kulturlandschaft – Äcker, Wiesen, Wälder und ihre Produkte. (Kültürel Peyzaj – Tarım Alanları, Çayırlar, Ormanlar ve Ürünleri), Springer Verlag, Almanya. ISBN 978-3-662-57752-3
- Hartz, A. ve Brenner J., (2017). Regionale Landschaftsgestaltung – ein Modellvorhaben des Bundes. Ländlicher Raum, Kulturlandschaften, 01/17, S: 32-35, Agrarsoziale Gesellschaft e.V.
- Heiland, S., Mengel, A., Hänel, K., Geiger, B., Arndt, P., Reppin, N., Werle, V., Hokema, D., Hehn, C., Mertelmeyer, L., Burghardt, R., Opitz, S., (2017). Bundeskonzept Grüne Infrastruktur Fachgutachten. Bundesamt für Naturschutz, BfN-Skripten 457, Almanya.
- Kasemir, B., Jaeger, C.C., Jäger, J., (2003). "Citizen Participation in Sustainability Assessments." Kitap: Public Participation in Sustainability Science A Handbook. Ed.: e-ISSN: 2148-2683

- Kasemir, B., Jäger, J., Jaeger, C.C., Gardner, M.T., Cambridge University Press, UK, ISBN – 13: 978-0-511-06976-5 eBook (EBL).
- Kayacan, T., Özel, Y., Kayacan, B. (2019). Kente Kazandırılan Yeni Yaşam Alanları. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, Sayı 16, S. 679-687. DOI: 10.31590/ejosat.592411.
- Kayın, E., (2012). Bir “Kültürel Manzara-Kültürel Peyzaj” Ögesi Olarak Kırsal Yerleşimlerin Korunmasına Yönelik Kavramsal ve Yasal İrdelemeler. *Mimarlık Dergisi* Sayı: 367, Eylül-Ekim, 2012. <http://www.mimarlikdergisi.com/index.cfm?sayfa=mimarlik&DergiSayi=381&RecID=2998>
- Lennon, J., (2015). Cultural Landscape Management Practice: Some Australian Case Studies. Kitap: *Conserving Cultural Landscapes Challenges and New Directions. Part IV: Confronting the Everyday Challenge of Cultural Landscape Management* Ed.: Ken Taylor, Archer St Clair ve Nora J. Mitchell, Routledge
- MA-Millennium Ecosystem Assessment, (2005). *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Island Press, Washington, DC. 137 S.
- McHarg, I.L., (1992). *Design With Nature*. John Wiley & Sons, Inc., ISBN: 0-471-55797-8.
- Miller, W., Collins, M.G., Steiner, F.R., Cook, E., (1998). “An Approach for Greenway Suitability Analysis.” *Landscape and Urban Planning*, 42, S: 91-105.
- Naveh, Z., (2001). “Ten major premises for a holistic conception of multifunctional landscapes.” *Landscape and Urban Planning*, 57, S:269–284.
- Potschin, M. ve Haines-Young, R., (2006). “Rio+10, Sustainability Science and Landscape Ecology.” *Landscape and Urban Planning*, 75, S: 162-174.
- Saunders, M.E. ve Luck, G.W., (2016). “Limitations of the ecosystem services versus disservices dichotomy.” *Conservation Biology* 30(6): 1363-1365.
- Schrapp, L., Garschhammer, J., Meyer, C., Blum, P., Reinke, M., Mewes, M., (2020). *Ökosystemleistungen in der Landschaftsplanung. Abschlussbericht zum gleichnamigen F+E-Vorhaben (FKZ 3515 82 3000), BfN-Skripten 568, Almanya.*
- Sundseth, K. ve Creed, P., (2008). *NATURA 2000, Protecting Europe’s Biodiversity*. European Commission, Directorate General for the Environment (Avrupa Komisyonu, Çevre Genel Müdürlüğü), Birleşik Krallık. ISBN 978 92 79 08308 2
- Suri, L., (2018). “Search for Plans for Drinking Water Basins: Ömerli Drinking Water Basin as an Example,” *Journal of Multidisciplinary Research (1947-2900)*, 1(1), 0-0
- T.C. Dışişleri Bakanlığı. *Sürdürülebilir Kalkınma*. <http://www.mfa.gov.tr/surdurulebilir-kalkinma.tr.mfa#:~:text=3%2D14%20Haziran%201992%20 tarihleri,a%C3%A7%C4%B1s%C4%B1ndan%20%C3%B6nemli%20bir%20ad%C4%B1m%20olmu%C5%9Ftur.> Son erişim tarihi: 26.02.2021
- TEEB – The Economics of Ecosystems and Biodiversity, (2010). *TEEB Ecological and Economic Foundations*. Earthscan, Londra.
- Tülek, B. ve Saner, H. S., (2020). Kaderine Terk Edilmiş Bir Köy Olarak Lübbey Köyü Peyzaj Özelliklerinin İncelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 1026-1037.
- UN, WCED (the World Commission on Environment and Development), 1987. *Brundtland Report. Our Common Future*.
- URL-1 UNESCO, *Dünya Kültürel ve Doğal Mirasının Korunmasına Dair Sözleşme*. 14.02.1983 tarih ve 17959 sayılı Resmî Gazete. <https://teftis.ktb.gov.tr/TR-263665/dunya-kulturel-ve-dogal-mirasin-korunmasi-sozlesmesi.html> Son erişim tarihi: 12.11.2021
- URL-2 TBK - Büro für Ökologie und Landschaftsplanung. <http://www.tb-kutzenberger.com/index.php?lang=en> Son erişim tarihi: 26.07.2021
- Ürün, Ş., (2016). *Dünya Kültürel ve Doğal Mirasın Korunmasına Dair Sözleşme: Doğal Miras Alanları Başvuru, Adaylık ve Değerlendirme Süreçleri*. Tez. UNESCO Türkiye Millî Komisyonu.



# Nanoakışkan Kullanımında Ani Daralma ve Ani Genişleme Bağlantı Elemanlarının Akış Karakteristiklerinin Sayısal Olarak İncelenmesi

Nehir Tokgöz<sup>1\*</sup>, Mürüvvet Avcı<sup>1</sup>, Mehmet Tahir Erdinç<sup>2</sup>, Önder Kaşka<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Osmaniye, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-9264-9971), [nehirtokgoz@osmaniye.edu.tr](mailto:nehirtokgoz@osmaniye.edu.tr)

<sup>1</sup>Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Osmaniye, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-8156-143X), [muruvvet.oku@gmail.com](mailto:muruvvet.oku@gmail.com)

<sup>2</sup>Tarsus Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Tarsus, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-2201-2937), [mtahirerdinc@tarsus.edu.tr](mailto:mtahirerdinc@tarsus.edu.tr)

<sup>3</sup>Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Osmaniye, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-7284-2093), [onderkaska@osmaniye.edu.tr](mailto:onderkaska@osmaniye.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 4 Ağustos 2021 ve Kabul Tarihi 13 Kasım 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.978927)

**ATIF/REFERENCE:** Tokgoz, N., Avcı, M., Erdinç, M.T & Kaska, O. (2021). Nanoakışkan Kullanımında Ani Daralma ve Ani Genişleme Bağlantı Elemanlarının Akış Karakteristiklerinin Sayısal Olarak İncelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (27), 1073-1086.

## Öz

Yapılan bu çalışmada endüstriyel sistemlerde en çok kullanılan iki farklı tesisat bağlantı elemanının (ani daralma ve ani genişleme) içerisinde nanoakışkan geçirilerek bu bağlantı parçalarının basınç düşüşleri ve kayıp katsayıları sayısal olarak incelenmiştir. Nanoakışkan, temel akışkan su alınarak içerisine farklı konsantrasyonlarda alüminyum, bakır ve titanyum esaslı nanoparçacıkların eklenmesiyle elde edilmiştir. Artan konsantrasyonun basınç kaybı ve akış yapısı üzerinde etkisini incelemek için farklı konsantrasyonlarda farklı nanoakışkanlar incelenmiştir. Nanoakışkanların termodinamik özellikleri daha önce yapılmış olan çalışmalardan alınmıştır. Hesaplama sonuçları, literatürdeki sonuçlar ile doğrulanmıştır. Sayısal çözümlemelerde yaygın olarak tercih edilen Standart k- $\epsilon$  ve Standart k- $\omega$  türbülans modeli olmak üzere 2 farklı türbülans modeli kullanılmıştır. Elde edilen hesaplar sonucunda incelenen her akışkanda, konsantrasyon arttıkça viskozitenin artışı ile yerel kayıpların da arttığı ortaya konulmuştur. En uygun türbülans modelinin bütün bağlantı parçaları için k- $\epsilon$  olduğu belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Sayısal, Bağlantı elemanı, Nanoakışkan, Yerel kayıp, Basınç düşüşü

## Numerical Investigation of Flow Characteristics of Sudden Contraction and Sudden Expansion Fittings with Nanofluid Usage

### Abstract

In this study, the pressure drop and the pressure drop coefficient of nanofluid have been numerically investigated for two different types of fittings ( sudden contraction and sudden expansion) to be used commonly in the industrial systems. Nanofluid was obtained to mix the base water (H<sub>2</sub>O) fluid with different concentration of aluminum (Al), copper (Cu), and titanium (Ti) nanoparticles. Different nanofluids with different concentrations were investigated in order to examine the effect of increasing concentration on pressure loss and flow structure. The thermophysical properties of the nanofluids were taken from the previous studies. The results were validated by the previous literature. Two different turbulence models frequently used in the numerical analysis, Standard k- $\epsilon$  and Standard k- $\omega$ , were chosen in this study. As a result of this numerical study, it was observed that increasing concentration ratio causes higher pressure drop due to increment of the viscosity. It was also obtained that the most suitable turbulence model is k- $\epsilon$  for both connection fittings.

**Keywords:** Numerical, Fittings, Nanofluid, Local loss, Pressure drop

\* Sorumlu Yazar: [nehirtokgoz@osmaniye.edu.tr](mailto:nehirtokgoz@osmaniye.edu.tr)

## 1. Giriş

Günümüzde endüstrinin her alanında ısı transferine yönelik yapılan araştırmaların temel amacı; enerjinin etkin ve verimli şekilde kullanılmasına yöneliktir. Enerji tüketen cihazların verimliliğini artırarak, mevcut enerjinin en iyi şekilde kullanılması araştırmacıların birinci hedefi haline gelmiştir. Bu kapsamda yapılan çalışmalar neticesinde ısıyı transfer etmek için tasarlanan ısı değiştiricilerinin verimlilik açısından daha etkili, maliyet açısından daha uygun olması amaçlanmıştır. Enerjiyi etkin şekilde kullanıp ısı transferini artırmaya yönelik çalışmalar aktif, pasif ve karma yöntemler olarak bilinmektedir. Pasif yöntemler, genişletilmiş yüzeyler, kanatçıklar gibi dış güç kullanılmasını gerektirmeyen yöntemlerken, aktif yöntemler de bir dış güç kaynağına ihtiyaç duyulur. Karma yöntemlerde ise aktif ve pasif yöntemlerden ikisi ya da daha fazlası birlikte kullanılır (Bergles, 1983). Isı transfer etkinliğini arttırmak için, iş yapan akışkanın (temel akışkan) içerisine mikro veya nano boyuttaki katı parçacıklar eklenerek yeni akışkan elde edilmesi günümüzde çok tercih edilen pasif yöntemlerden biridir. Burada amaç ısı transferini artırmaya yönelik olsa da özellikle boru sistemlerindeki akışkanlarda çökeltme, tortulaşma gibi birçok dezavantajı da beraberinde getirmiştir. Bu gibi durumlar da performansı düşürüp ısı değiştiricilerinin boyutunu ve maliyetini arttırmıştır (Şahin, 2006). Malzeme bilimi ve endüstrinin gelişmesiyle su, etilen, motor yağı gibi yaygın olarak kullanılan temel akışkanların içerisine ilave edilen partiküller mikro boyuttayken (1µm = 10-6m) yerini nano boyutlara (1nm = 10-9 m) bırakmıştır. Temel akışkan içerisine; boyutu 100 nm'den daha düşük, ısı iletkenliği yüksek metalik ve metalik olmayan parçacıklar ilave edilerek nanoakışkan adı verilen yeni akışkanlar elde edilmiştir. Nanoakışkan kavramı ilk kez Choi ve arkadaşları tarafından ortaya konulmuştur. Nanoakışkanların tercih edilme nedenlerinin başında ısı iletim katsayılarını geleneksel akışkanlara göre çok yüksek olması ve basınç düşümünü çok fazla arttırmamalarıdır. Böylece yüksek ısı transfer performansı ile daha küçük boyutlarda ısı değiştiricisi yapma imkânı sunmaktadır (Choi & Eastman, 1995). Nano parçacıkların aynı hacimsel konsantrasyonda mikro parçacıklara kıyasla daha fazla yüzey alanına sahiptir. Mikro boyuttaki partiküllerle hazırlanan süspansiyonların kanallarda tıkanmalara sebep olurken (Murshed, Leong, & Yang, 2008) nanoparçacıkların boru içerisinde çökeltme ve tortulaşma meydana getirmedikleri ve akış boyunca kanalı aşındırmadıkları görülmüştür. Ayrıca nanoakışkan kullanımı mikro kanal yüzey ile akışkan arasındaki sıcaklık farkını azaltıp, ısı direncin azalmasına yol açmıştır. Bütün bunların sonucunda araştırmacılar nano boyutlu katı parçacıkların kullanılmasıyla ısı transferinin büyük ölçüde iyileştirilebileceğini görmüşlerdir. Bu olumlu sonuçlar neticesinde de güneş kolektörleri, ısı boruları, nükleer reaktörler, elektronik soğutma sistemleri, otomobil radyatörleri vb. uygulamalar için muhtemel çalışma sıvıları olarak kabul edilebileceğini düşünmüşlerdir (Ganvir, Walke, & Kriplani, 2017; Hassanzadeh & Tokgoz, 2017; Tokgöz, Alıç, Kaşka, & Aksot, 2018).

Awang, su ve etilen glikol gibi temel akışkanlar ile nanopartikül boyutundaki materyali karıştırıp ısı transferini inceleyerek, nanoakışkanları regresyon denkleminin geliştirilmesine odaklanmıştır. Çalışmaları sonucunda, nanoakışkanların viskozite, özgül ısı yoğunluk ve yoğunluk oranı ile ilgili ortalama sapma değerleri bulmuştur (Awang, 2010). Hosseini vd. termal iletkenlik, viskozite, yoğunluk ve özgül ısı

gibi nano sıvıların fiziksel özellikleri hakkında mevcut tüm formül ve korelasyonları gözden geçirip sınıflamışlardır. Yaptıkları incelemeler ile nano sıvıların fiziksel özellikleri üzerine parçacık konsantrasyonu, parçacık ve baz sıvısının fiziksel özellikleri, sıcaklık gibi birçok faktörün etki ettiğini görmüşlerdir. Tüm korelasyonun parçacık boyutu ve malzemesine bağlı olduğunu yüksek partikül hacmi konsantrasyonunda viskozite, yoğunluk ve özgül ısının etkinliğinin daha belirgin olduğunu fark etmişlerdir ve burada viskozite, yoğunluk ve özgül ısının sabit olduğunu varsaymışlardır (Hosseini, Shahrijerdi, & Vazifeshenas, 2011). Mahagaonkar vd. çalışmalarını kütlece %60 etilen glikol ve %40 su bazlı akışkan içinde alüminyum oksit ( $Al_2O_3$ ) antimon-kalay oksit ( $Sb_2O_5$ ,  $Sn_2O_2$ ) ve çinko oksit ( $ZnO$ ) nanopartikülleri içeren üç farklı nanoakışkan üzerinde gerçekleştirmişlerdir. İlk olarak temel akışkanın yoğunluğu için bir test sunmuşlar, sonra bu nanoakışkanların farklı hacmi konsantrasyonu için  $0^\circ C$  ila  $50^\circ C$  sıcaklık aralığında yoğunluk ölçümlerini incelemişlerdir. Mahagaonkar ve arkadaşları, yaptıkları çalışmalar sonucunu yaygın olarak kullanılan teorik denklemler ile karşılaştırmış ve ölçümler arasındaki en iyi uyumun  $Al_2O_3$  ve  $Sb_2O_5$ ,  $Sn_2O_2$  içeren nanoyakıtlar için elde etmişlerdir. Bununla birlikte genel teorik deneyler arasındaki sapmanın  $ZnO$  nanoakışkanı ile daha yüksek olduğu ve partikül hacmi konsantrasyonu ile arttığını gözlemlemişlerdir (Vajjha, Das, & Mahagaonkar, 2009). Timofeeva ve diğerleri, nanoakışkanlarda viskozite, ısı iletkenlik ve soğutma verimliliği gibi kavramların etkisini incelemişlerdir. Tek fazlı sıvılar için soğutma verimliliği ölçümlerini analiz edip, ısı transferi için önemli olan nanoakışkanların özelliklerini belirlemişlerdir. Timofeeva ve arkadaşları, nano boyuttaki parçacıkların temel akışkan içindeki konsantrasyonun ısı transferini arttırmak için etkili parametre olduğunu ortaya koymuşlardır (Timofeeva, Yu, France, Singh, & Routbort, 2011). Duangthongsuk vd.  $Al_2O_3$ -su içeren nanoakışkanların kaynama özelliklerine ilişkin bir deney yürütmüşlerdir. Araştırmalarının temel amacı, nanoakışkan konsantrasyonunun ve basıncının, su ile karşılaştırarak ısı iletim katsayısı ve ısı akışı üzerindeki etkisini incelemektir. Deneysel aparatı su ile kalibre etmişler ve deneysel sonuçları Rohsenow denklemi ile ortaya koymuşlardır. Duangthongsuk ve arkadaşları yaptıkları deney sonucunda,  $Al_2O_3$ -su içeren nanoakışkanların ısı transfer katsayısının suyunkinden düşük olduğunu ve konsantrasyon yüksek olduğunda azalma eğiliminde olduğunu görmüşlerdir (Duangthongsuk, Yiamsawasd, Selim Dalkilic, & Wongwises, 2013). Kulkarni, vd. süspansiyon halinde metalik nanopartiküller içeren nano sıvıların, temel sıvının termal iletkenliğini önemli miktarda arttırdığı fikrine dair çalışmalar yapmışlardır. Bunun için ilk olarak  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$  ve  $CuO$  içeren nano sıvıların çeşitli sıcaklıktaki farklı hacim yüzdelerindeki özelliklerini incelemişler, viskozite üzerine sıcaklık ve çap etkisini araştırmışlardır. Kulkarni ve arkadaşları, nanoakışkanların viskozitesinin nano partikül konsantrasyonunun bir fonksiyon olduğu ve konsantrasyonla arttığı sonucuna ulaşmışlardır. Parçacık boyutu arttıkça viskozitenin azaldığını görmüşlerdir. Ayrıca yaptıkları çalışmalar sonucunda, parçacık boyutunun, ısı transfer katsayısını etkilediğini ve çap ne kadar büyük olursa, ısı transfer katsayısının o kadar yüksek olduğunu görmüşlerdir. Yoğunluğa bağlı olarak viskozitenin arttığını görmüşler ve konsantrasyon arttıkça basınç kaybının da arttığı sonucuna ulaşmışlardır (Kulkarni, Namburu, & Das, 2016). Bianco vd. çalışmalarında, sabit ve homojen bir ısı akısına tabi tutulan bir dairesel tüp içindeki su-  $Al_2O_3$  içeren nanoakışkanı sayısal olarak incelemişlerdir. 100 nm boyuttaki parçacıklar için tek veya iki fazlı model kullanmışlardır. Bianco ve arkadaşları yaptıkları

çalışmalar sonucunda tek ve çift faz model sonuçları arasındaki ortalama ısı transfer katsayısındaki maksimum fark yaklaşık % 11 olduğu ve nanoakışkanlar için taşınım ısı transfer katsayısı temel akışkanınkinden daha büyük olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Ayrıca ısı transferinin artırılması partikül hacmi konsantrasyonu ile birlikte arttığını, ancak bunun kayma gerilmesini de arttırdığını görmüşlerdir. Yaptıkları çalışmalar ile Reynolds sayısı arttıkça ısı transferi daima geliştiğini de fark etmişlerdir (Bianco, Chiacchio, Manca, & Nardini, 2009). Artuç, akışkanların ısı iletkenliklerini arttırmak için küçük metal parçacıklar kullanılarak nanoakışkanlar elde edilebileceğini düşünmektedir. Karışımın içerisindeki farklı boyutlarda bakır ve gümüş metalin ısı iletkenliği akışkanınkinden fazla olduğu için karışımın ısı iletkenliğinin de artacağını söylemiştir. Artuç, elde ettiği sonuca göre ısı iletkenliğinin nanoakışkanların hacimsel değerinin artışıyla arttığını belirlemiştir. Belirli bir artış değerinden sonra ise doyuma ulaştığını görmüştür. Nanoakışkanlarda ısı iletimini etkileyen faktörlerin boyut, hacimsel oran, sıcaklık, ısı iletim katsayısı gibi faktörler olduğu sonucuna varmıştır (Artuç, 2007). Gavgash ve arkadaşları bu çalışmalarında Fluent CFD yazılımını kullanarak, nano sıvıların silindirik ısı borularının termal performansı üzerindeki etkilerini modelleme ve simule etmeyi amaçlamışlardır. Sıvı akışkan (su) içerisinde nano parçacık varlığında basınç ve aksel hızı araştırmışlardır. Parçacık yoğunluğunun ve boyutunun etkisini incelemişler ve sistemin çalışma sıvısı olarak nanoakışkan kullanıldığında ısı borusunun ısı performansının iyileştiğini görmüşlerdir. Ayrıca ısının ısı iletkenliğinin parçacık konsantrasyonunun seviyesi arttıkça ve partikülün yarıçapı azaldıkça düştüğü sonucuna varmışlardır (Gavgash, Hussain, Layeghi, & Lafmejani, 2012). Kakaç ve Pramuanjaroenkij, çalışma sıvısı olarak kullandıkları termal sistemlerde konvektif ısı aktarım hızını arttırmak amacıyla nanoakışkan kullanımının avantajını incelemişlerdir. Tek ve iki fazlı sistemlerde çalışmalar yapmışlardır. Nano yakıtlar tarafından ısı transferinin artırılmasının, partiküller arasındaki fiziksel etkileşim modelinde bulunan diferansiyel denklemlere bağlı olduğunu düşünmüşlerdir. Karışım modelinin, fiziksel özelliklerinin birleştirilmesi ve daha az hesaplama gücü gereksinimi gibi avantajlara rağmen, bazı çalışmalarda tek fazlı ve iki fazlı modellerin sonuçlarının çok benzer olduğunu temel farkın, fazların birbirine göre sürüklenme hızlarının etkisinden oluştuğunu görmüşlerdir. Ve iki fazlı modelin daha karmaşık ve hesaplama açısından daha maliyetli olduğunu her bir faz için denklemlerin ayrı ayrı çözülmesi ve fazlar arası koşullardan kaynaklandığını belirtmişlerdir (Kakaç & Pramuanjaroenkij, 2016)

Bu çalışmada tesisat bağlantı parçası olarak en çok kullanılan ani daralma ve ani genişleme bağlantı parçalarının içerisinde nanoakışkan geçirilmesiyle oluşan basınç farkı ve yerel kayıp katsayısı sayısal olarak incelenmiş, basınç ve hız dağılımları çıkarılmıştır. Tesisat projelerinde amaç seçilen pompanın sürtünme ve yerel kayıpları karşılayarak istenilen noktaya istenilen basınçta akışkanı taşımasıdır. Bundan dolayı boru çapı

hesabı yapılırken sürtünme kayıpları kadar yerel kayıpların da mutlaka göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

Nanoakışkanlar üzerine yapılan çalışmalar incelendiğinde daha çok ısı transferi üzerine etkisi incelenmiş oluşturduğu kayıplar ihmal edilmiştir. Konsantrasyonlarının değiştirilmesiyle termofiziksel özellikleri değişen nanoakışkanların meydana getirdiği kayıplar hesaplanmıştır. Yerel kayıpları oluşturan bağlantı malzemelerinin içinden farklı hacim konsantrasyonlarında alüminyum, titanyum ve bakır esaslı nano parçacıklar ilavesiyle elde edilen nanoakışkanlar geçirilmiştir. Hesaplanan basınç kayıpları suyla mukayese edilerek bağlı yerel kayıp katsayıları sunulan çalışma sonucunda elde edilmiştir.  $A_2O_3$  için beş farklı,  $Ti_2O$  için dört farklı,  $CuO$  için ise üç farklı hacim konsantrasyonu belirlenmiş belirlenen konsantrasyondaki nanoakışkanların termofiziksel özellikleri literatürde yer alan çalışmalardan alınmıştır. Ayrıca yapılan çalışma literatürde yaygın olarak kullanılan sonuçlarla (Çengel, Cimbala, & Engin, 2008) mukayese edilerek doğrulanmıştır. Türbülans modellerinin akış alanı üzerine etkisinin de incelendiği bu çalışmada yaygın kullanılan iki farklı turbulans modeli olan standart  $k-\epsilon$ , ve standart  $k-\omega$  türbülans modeli kullanılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Modelin Tanımlanması

İncelenen ani daralma ve ani genişleme bağlantı parçaları ANSYS-Fluent paket programında üç boyutlu modellenip çözülmüştür. Yapılan çalışmada akışın tam gelişmiş olması için, hidrodinamik giriş uzunluğu  $L_h=10d$  olarak alınmıştır. Reynolds sayısı 5000 olarak belirlenmiştir. Reynolds sayısı eşitlik 1'de gösterildiği şekilde tanımlanmıştır;

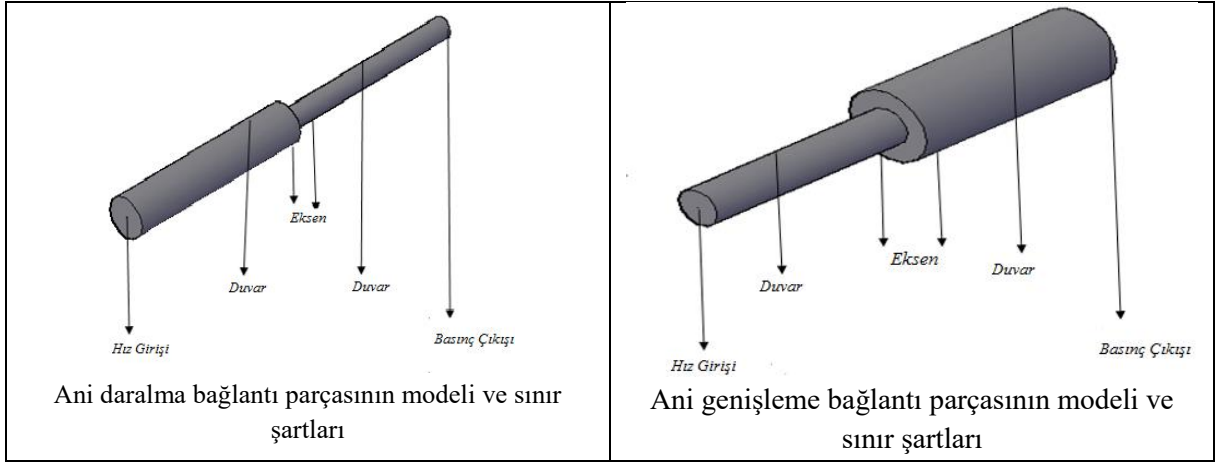
$$Re = \frac{\rho V d}{\mu} \quad (1)$$

Burada  $\rho$ ,  $V$ ,  $d$  ve  $\mu$  sırasıyla akışkanın yoğunluğu ( $kg/m^3$ ), ortalama akış hızı ( $m/s$ ), çap ( $m$ ) ve  $\mu$  dinamik viskozitedir ( $kg/ms$ ).

Tablo 1. Kullanılan Bağlantı Parçalarının boyutları

Boru	Giriş Çapı (m)	Çıkış Çapı (m)	Uzunluğu (m)
			x
Ani Daralma	2d	d	50d
Ani Genişleme	d	2d	50d

Kullanılan bağlantı malzemelerinin 3 boyutlu şematik gösterimi ve uygulanan sınır şartları aşağıdaki tabloda özetlenmiştir.



Şekil 1. Bağlantı malzemelerinin 3 boyutlu şematik gösterimi ve uygulanan sınır şartları

## 2.2. Modellerin Sınır Şartları

Ani daralma ve ani genişleme bağlantı parçası için modellenen geometride, akışkanın giriş kısmı uniform hız sınır şartı, çıkış kısmı için ise basınç çıkışı şartı tanımlanmıştır.

## 2.3. Sayısal Metot ve Denge Denklemleri

Yapılan sayısal analizlerde, Reynolds Ortalamalı Navier-Stokes (RANS) denklemleri kullanılmıştır. İkinci dereceden upwind ayrıklaştırma algoritmaları kullanılmıştır. Yakınsama kriteri  $10^{-6}$  alınmıştır.

Süreklilik denklemi:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (2)$$

Momentum denklemi:

$$\frac{\partial(\rho u_i u_j)}{\partial x_j} = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \mu \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \rho \overline{u'_i u'_j} \right] \quad (3)$$

### 2.3.1. Türbülans Modelleri

Endüstriyel tesislerde, mühendislik hesaplarında problem analizleri için seçilen türbülans modeli çok önemlidir. Seçilen türbülans modelinde akışkanın fiziksel özellikleri, akışta girdap olup olmaması oldukça etkilidir. Akışkandaki çalkantılar doğru türbülans modeli seçimi ile analiz edilebilir. Bu çalışmada modeller arasındaki farklılıkları ortaya koyabilmek için k-ε ve k-ω türbülans modelleri kullanılmıştır. Bu modelde türbülans kinetik enerji, k ve türbülans dağılım hızı, ε aşağıda verilen denklemler çözülür.

$$\frac{\partial(u_j k)}{\partial t} = \mu_t \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) + \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \frac{\mu_t}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) - \rho \epsilon \quad (4)$$

$$\frac{\partial(u_j \epsilon)}{\partial t} = C_{\epsilon 1} \frac{\epsilon}{k} \mu_t \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) + \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \frac{\mu_t}{\sigma_k} \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right) - \rho C_{\epsilon 2} \frac{\epsilon^2}{k} \quad (5)$$

Burada k, ε, σ<sub>k</sub> sırasıyla; türbülans kinetik enerjisi, enerjinin yayılımı ve türbülanslı Prandtl sayısıdır.

Türbülans Eddy viskozitesi ise:

$$\mu_t = C_\mu \frac{k^2}{\epsilon} \quad (6)$$

Burada C<sub>μ</sub>, C<sub>ε1</sub>, C<sub>ε2</sub> model katsayılarıdır ve şu şekilde ifade edilir:

$$C_\mu = \left( \frac{u_*^2}{k} \right)^2 \quad (7)$$

$$C_{\epsilon 1} = C_{\epsilon 2} - \frac{\kappa}{\sqrt{C_\mu} \sigma_\epsilon} \quad (8)$$

u\* : Sürtünme hızı, Çözümlemede kullanılan model sabitleri ise:

$$C_{\epsilon 1} = 1.44, C_{\epsilon 2} = 1.92, C_\mu = 0.09, \sigma_k = 1.0, \sigma_\epsilon = 1.3$$

Çözümlemede kullanılan diğer türbülans modeli ise standard k-ω türbülans modelidir. Bu model daha çok, sınır tabaka akışlarında, serbest kayma tabakalı akışlarda daha üstün sonuçlar vermektedir. Özellikle büyük akış ayrılmalarının olduğu sınır tabaka akışlarında kullanılmaktadır. Burada yine türbülans kinetik enerjisi k, enerjinin yayılımı ifadesi ise ω ile gösterilmektedir (Wilcox, 1988)

$$\frac{\partial k}{\partial t} + u_j \frac{\partial k}{\partial x_j} = \tau_{ij} \frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \beta^* k \omega + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ (v + \sigma^* v_T) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] \quad (9)$$

Burada kinematik Eddy viskozitesi şu şekilde ifade edilir:

$$v_T = \frac{k}{\omega} \quad (10)$$

α, β, β\*, σ ve σ\* model katsayılarıdır ve sırayla 5/9, 3/40, 9/100, 1/2 ve 1/2 değerlerine eşittir.

## 2.4. Yerel Kayıplar ve Kayıp Katsayısı

Akış problemlerinde göz önünde bulundurulması gereken en önemli etken, borudaki akışın rejimi, borunun fiziksel boyutları, boru yapımında kullanılan malzeme, akışkanın yön değiştirmesini sağlayan veya boruları birleştirmek için kullanılan bağlantı malzemelerinde meydana gelen enerji kayıplarıdır. Akışkan bir yerden başka bir yere taşımak için kullanılan pompalar oluşan bu enerji kayıplarını karşılayacak şekilde seçilirler. Bu sebeple meydana gelen kayıplar ne kadar küçük olursa seçilen pompa da o kadar küçük boyutlarda olacak böylece enerji tasarrufu sağlanmış olacaktır. Bir boru akışında sürtünmeden kaynaklanan kayıplar sürekli yük kayıpları diye adlandırılırken bağlantı malzemelerinin neden olduğu kayıplar yerel kayıplar olarak adlandırılmaktadır. Bu bağlantı elemanlarına örnek olarak; sürekli daralıp, genişleyen borularda geçişi kolaylaştıran difüzörler, giriş ve çıkış çaplarındaki ani genişleme ve ani daralmalar, T geçişi, akışı kontrol edip yönlendiren vanalar sayılabilir. Bu bağlantı elemanlarında yerel yük kayıpları (m) aşağıda verilen ifadeler ile hesaplanabilir;

$$H_k = \frac{\Delta P}{\rho g} = K_k \frac{V^2}{2g} \quad (11)$$

$H_k$  : yerel yük kaybı (m),  $\Delta P$  : iki nokta arasındaki basınç farkı (Pa),  $\rho$  : suyun yoğunluğu ( $\text{kg/m}^3$ ),  $g$  : yerçekimi ivmesi ( $9,81 \text{ m/s}^2$ ),  $K_k$  : yerel kayıp katsayısı,  $V$  : ortalama akış hızıdır ( $\text{m/s}$ )

$$W = \dot{w} \cdot \Delta P \quad (12)$$

Burada  $W$ ,  $\dot{w}$ ,  $\Delta P$  sırasıyla; akışkana aktarılan faydalı güç (Watt), hesaplanan hacimsel debi ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) ve pompa giriş ve çıkışı arasındaki basınç farkıdır (Pa).

## 2.6. Nanoakışkanların Termofiziksel Özellikleri

Temel akışkan su alınarak içerisine farklı konsantrasyonlarda  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Ti}_2\text{O}$ ,  $\text{CuO}$  esaslı nano parçacık ilave edilerek homojen nanoakışkanlar elde edildiği kabul edilmiştir. Beş farklı konsantrasyonda  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (%0,3, %0,5, %1, %2, %3), dört farklı konsantrasyonda  $\text{Ti}_2\text{O}$  (%0,05, %0,1, %0,3, %0,5) ve üç farklı konsantrasyonda  $\text{CuO}$  (%1, %2, %4) kullanılmıştır. Her bir konsantrasyon için ayrı ayrı hesaplama yapılmıştır. Kullanılan nanoakışkanların termofiziksel özellikleri daha önce literatürde yapılan deneysel çalışmalardan alınarak aşağıdaki çizelgelere özetlenmiştir.

Çizelge 1. 20 °C’de Alüminyum Oksidin,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  Fiziksel Özellikleri (Özbey, 2016)

Akışkanlar	Yoğunluk, P ( $\text{kg/m}^3$ )	Özgül ısı, Cp ( $\text{j/kg K}$ )	Dinamik Viskozite, $\mu$ ( $\text{kg/ms}$ )	Isı İletim Katsayısı, k ( $\text{W/m K}$ )
Su	998.2	4182.0	0.001003	0.6
Su+%0.3 $\text{Al}_2\text{O}_3$	1005.80	4145.20	0.0010862	0.608334
Su+%0.5 $\text{Al}_2\text{O}_3$	1011.87	4110.86	0.00117021	0.619223
Su+%1.0 $\text{Al}_2\text{O}_3$	1028.20	4036.67	0.00139827	0.644465
Su+%2.0 $\text{Al}_2\text{O}_3$	1055.48	3925.80	0.0019319	0.685893
Su+%3.0 $\text{Al}_2\text{O}_3$	1083.60	3810.77	0.0025689	0.728339

Çizelge 2. 20 °C’de Titanyum Oksidin,  $\text{Ti}_2\text{O}$  Fiziksel Özellikleri (Gedik vd., 2017)

Akışkanlar	Yoğunluk, P ( $\text{kg/m}^3$ )	Özgül ısı, Cp ( $\text{j/kg K}$ )	Dinamik Viskozite, $\mu$ ( $\text{kg/ms}$ )	Isı İletim Katsayısı, k ( $\text{W/m K}$ )
Su+%0.05 $\text{Ti}_2\text{O}$	1077.3	3858.3	0.000845	0.6569
Su+%0.1 $\text{Ti}_2\text{O}$	1154.6	3573.7	0.000892	0.6953
Su+%0.3 $\text{Ti}_2\text{O}$	1463.6	2736.8	0.001082	0.8656
Su+%0.5 $\text{Ti}_2\text{O}$	1771.9	2192.8	0.001271	1.068

Çizelge 3. 20 °C’de Bakır Oksidin,  $\text{CuO}$  Fiziksel Özellikleri (Bedir, 2013)

Akışkanlar	Yoğunluk, P ( $\text{kg/m}^3$ )	Özgül ısı, Cp ( $\text{j/kg K}$ )	Dinamik Viskozite, $\mu$ ( $\text{kg/ms}$ )	Isı İletim Katsayısı, k ( $\text{W/m K}$ )
Su+%1 $\text{CuO}$	1051.418	4145.615	0.001387	0.645
Su+%2 $\text{CuO}$	1104.636	4109.150	0.001545	0.657
Su+%4 $\text{CuO}$	1211.072	4036.221	0.001762	0.694

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Farklı hacim konsantrasyonlarında ele alınan, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CuO ve TiO<sub>2</sub> nanoakışkanların sayısal analizleri sonucunda elde edilen veriler değerlendirilmiştir. Elde edilen verilerle hesaplanan yerel kayıp katsayıları literatürde kabul edilen (Çengel vd., 2008) yerel kayıp katsayıları ile mukayese edilmiştir. Ani daralma bağlantı parçası için  $d^2/D^2$  oranına bağlı diyagram kullanılırken, ani genişleme bağlantı parçası için  $(1 - \frac{d^2}{D^2})^2$  bağıntısı kullanılmıştır (Çengel et al., 2008). Analizler sonucunda elde edilen verilerde kullanılan türbülans modellerinin hangisinin referans alınan kaynağa yakın olduğu tespit edilip uygun modele karar verilmiştir. Kullanılan modellerle elde edilen sonuçların hepsi grafiklerle ve çizelgelerle sunulmuştur.

#### 3.1. Sonuçların Doğrulanması

Yapılan bu çalışmada hesaplanan yerel kayıp katsayısı ( $K_k$ ) değerleri, (Çengel et al., 2008) tarafından belirlenen kayıp katsayıları ile kıyaslanmıştır. Hesaplama kullanılan iki farklı türbülans modelindeki değerler ve literatür sonuçları Tablo 2’de gösterilmiştir. Hesaplamalar sonucunda elde edilen sonuçlara göre k-ε türbülans modeli kullanıldığında, sonuçlar literatürdeki sonuçlara daha yakın olduğu görülmektedir. Çözümlemelerde k-ω Standart türbülans modeli kullanıldığı durumda literatürde yaygın kullanılan değere, en uzak değer ise % 23 farkla ani daralma bağlantı parçasında olduğu görülmektedir. k-ω Standart türbülans modeli kullanıldığı durumda yerel kayıp katsayısı değerinin fazla çıkması bu modelin çözümleme için uygun olmadığını göstermektedir.

Tablo 2 : Su İçin Elde Edilen Sonuçların Doğrulanması

Bağlantı Parçası	$K_k(k-\epsilon)$	$K_k(k-\omega)$	$K_k$ (Çengel vd., 2008)
Ani Daralma	0.499	0.6305	0.48
Ani Genişleme	0.602	0.639	0.58

Değişen hacim konsantrasyonlarına göre k-ε ve k-ω türbülans modelleri için hesaplanan yerel kayıp katsayıları Tablo 3 ve Tablo 4’te verilmiştir. Tablolar incelendiğinde, konsantrasyonun atmasıyla yerel kayıp katsayısının da arttığı görülmektedir. Bu durum akışkanın türbülanslı oluşu ve artan hacim konsantrasyonunun artmasıyla ilişkilendirilebilir.

Ani daralma ve genişleme bağlantı parçalarında köşelerde akış ayrılması oluşur ve akış bağlantı parçasının ortasında bulunan daralmış kesitte sıkışmaktadır. Bu da akışkanın enerji kaybetmesine neden olur.

Akışın hidrodinamik yapısını daha iyi açıklayabilmek için simetri eksenlerine tanımlanan yüzeylerdeki hız ve basınç dağılımları ani daralma ve ani genişleme için sırası ile Şekil 2, Şekil 3, Şekil 4 ve Şekil 5’te sunulmuştur.

Tablo 3. Bağlantı Parçalarının Kayıp Katsayıları,  $K_k$ , k - ε modeli (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)

Akışkanlar	Kayıp Katsayıları, $K_k$	
	Ani Daralma	Ani Genişleme
Su	0.4997	0.602
Su+%0.3 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.5034	0.607
Su+%0.5 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.5065	0.610
Su+%1.0 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.5146	0.620
Su+%2.0 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.5280	0.637
Su+%3.0 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.5424	0.654

Tablo 4. Bağlantı Parçalarının Kayıp Katsayıları,  $K_k$ , k - ω Modeli (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)

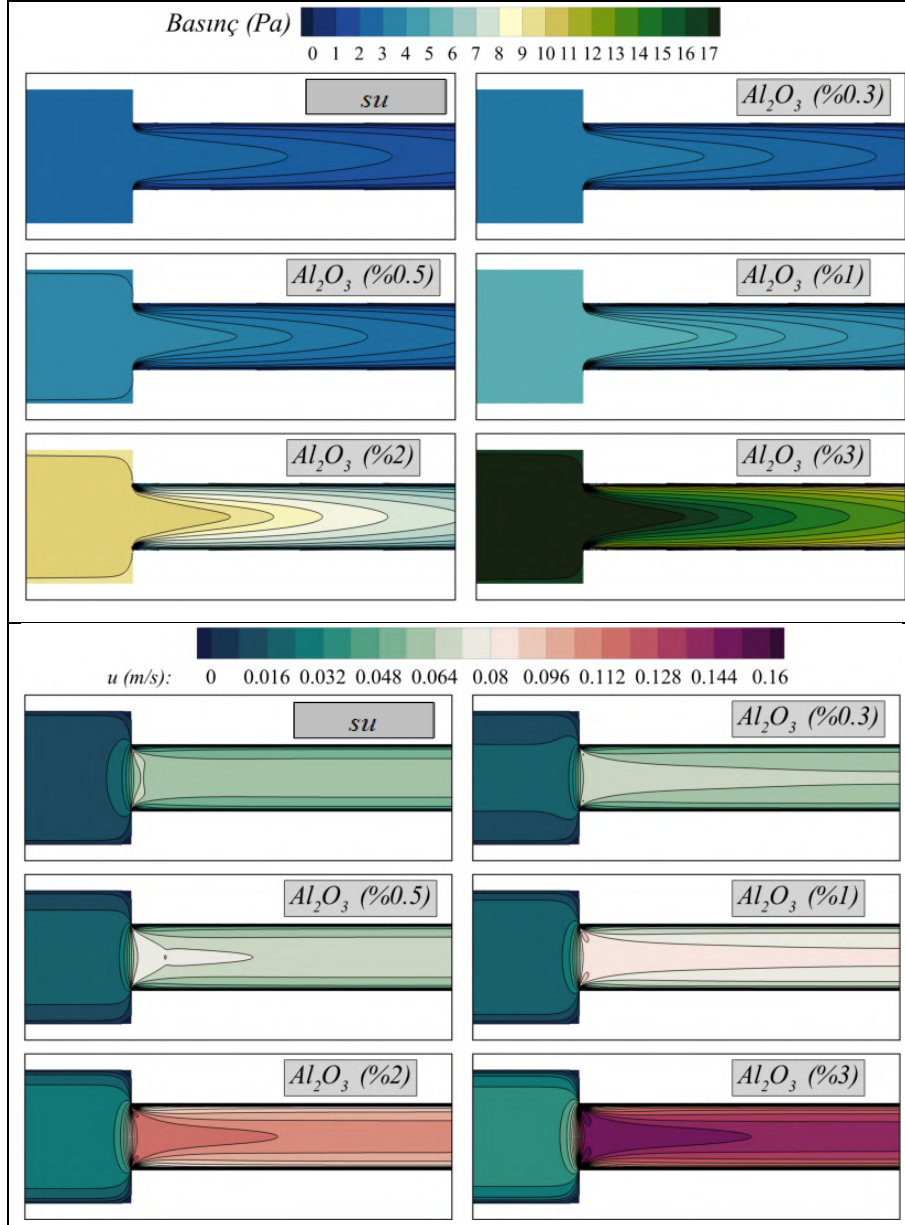
Akışkanlar	Kayıp Katsayıları, $K_k$	
	Ani Daralma	Ani Genişleme
Su	0.6305	0.639
Su+%0.3 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.6463	0.644
Su+%0.5 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.6391	0.648
Su+%1.0 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.6487	0.658
Su+%2.0 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.6659	0.676
Su+%3.0 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.6844	0.694

Şekil 2 incelendiğinde, ani daralma bağlantı parçası için konsantrasyon arttıkça basıncın da arttığı görülmektedir. Düşük konsantrasyonlarda 1 Pa mertebesinde olan basıncın yüksek konsantrasyonda 17 Pa değerine kadar çıkması bu durumun sonucu olarak açıklanabilir. Diğer bağlantı parçaları ile kıyaslandığında basınçta yaklaşık %160 oranında bir artış olmuştur. Yani akışkana ilave daha fazla basınç enerjisi verilmesi gerektiği ortaya çıkmaktadır. Ani daralmadaki bu artışın nedeni ani girdap kopmalarından dolayı bağlantı parçalarının köşelerinde akış ayrılmalarının oluşmasından kaynaklanmaktadır. Ani daralma bağlantı parçası için Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoakışkanında konsantrasyon artışı ile hızın da arttığı, özellikle ani girdap kopmalarının olduğu yerlerde hız dağılımının çok daha fazla sıklaştığı görülmüştür. Köşelerde türbülans girdaplarından dolayı hızda ani bir artış meydana gelmiştir. Bağlantı parçasının giriş kısmındaki büyük kesitte hız değeri 0,016 m/s iken, çıkış kısmındaki küçük kesitte hız değeri aniden 10 katına çıkarak 0,16 m/s değerine ulaşmıştır. Şekil 3’te görüldüğü gibi, her konsantrasyondaki ani genişleme bağlantı parçası için girişteki basıncın çıkışta düştüğü görülmektedir. Negatif basınçlar kesikli çizgiler ile sembolize edilmiştir. Ani genişlemeden hemen sonra keskin köşelere yakın yerlerde ölü akış alanları oluşmaktadır. Şekil 3 incelendiğinde ani genişleme bağlantı parçası için Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoakışkanında konsantrasyon artışı ile hızın da arttığı görülmüştür. Maksimum hızın kesitin en dar olduğu yerde meydana gelmesi süreklilik denklemi gereği beklenen bir sonuçtur. Basınç dağılımının verildiği şekildeki gibi hız dağılımında da negatif hızlar kesikli çizgi ile gösterilmiştir. Akışkan keskin bir kenardan boruya girerken sahip olduğu hız yükünün büyük bir bölümünün kaybeder. Özellikle çok yüksek Reynolds sayılarında akışkanın keskin dönüşler yapması oldukça zordur. Bu dönüşleri yapabilmesi için enerji kaybetmesi

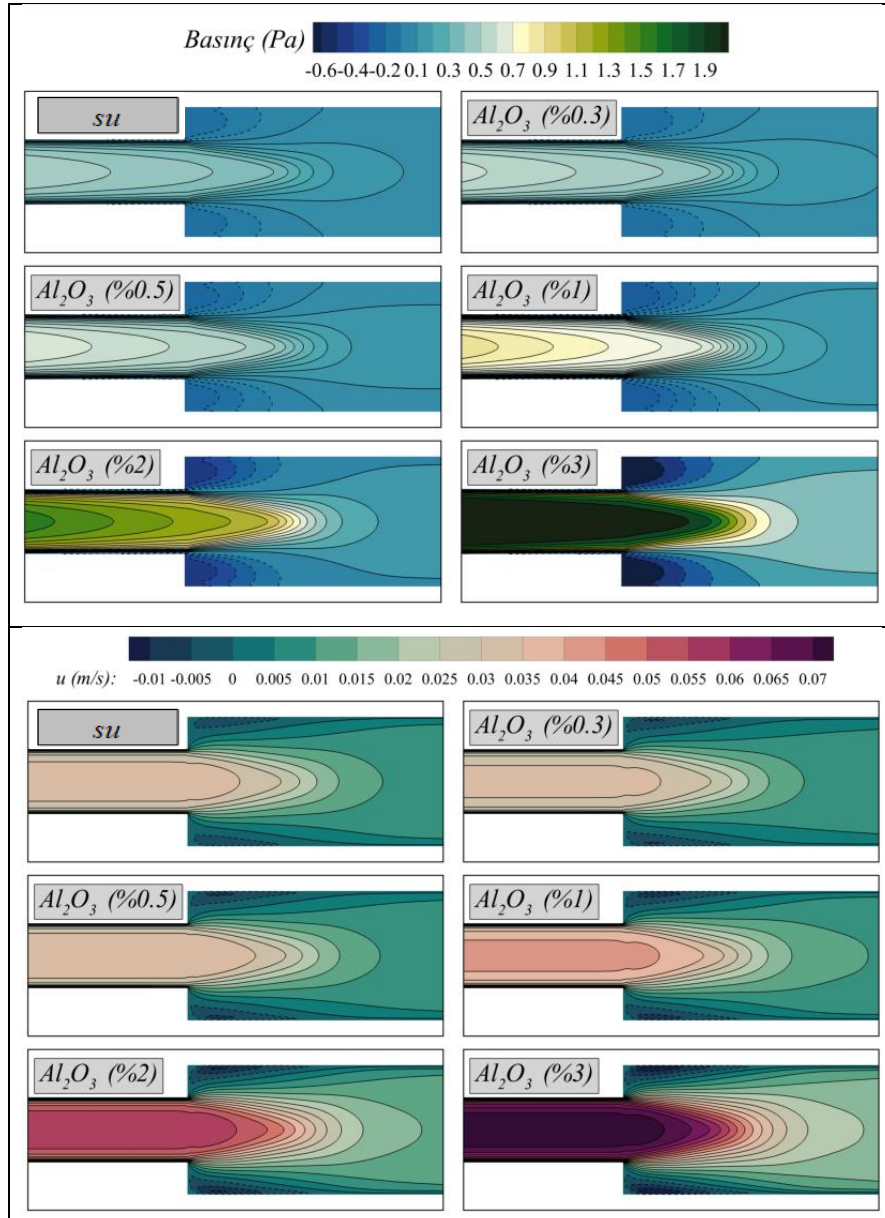


kaçınılmazdır. Bu dönüşler neticesinde şekilde de açıkça görüldüğü gibi köşelerde akış ayrımları meydana gelerek yön değiştiren ikinci bir akış alanı oluşmuştur. Boru boyunca ani olarak genişleyen akış alanında hız azalarak basınç artmıştır. Bu artışın Bernoulli denkleminde beklendiği gibi hız yükünün basınç yüküne dönüşmesi şeklinde olması beklenir. Fakat bu artma işlemi gerçekte böyle gerçekleşmez (Çengel vd., 2008). Girdaplardan ve karışmadan kaynaklanan kinetik enerjinin bir

kısmı ısıya dönüşür. Sonuç olarak basınç enerjisinde çok ciddi bir artış meydana gelmez. Ele alınan nanoakışkan için hacim konsantrasyonunun artması ile basınç farkının arttığı görülmüştür. Çünkü basınç farkı konsantrasyonun bir fonksiyonudur. Konsantrasyon arttıkça basınç farkı da artar. Bunun nedeni ise viskozitenin konsantrasyonla artmasıdır. Partiküllerin yoğunluğunun artışı ile türbülans veya çalkantılar artarak moleküllerin hareketi zorlaşır, bu da basınç farkını artırır.



Şekil 2. Ani Daralma Bağlantı Parçası için basınç ve hız dağılımı ( $Al_2O_3$ )



Şekil 3. Ani Genişleme Bağlantı Parçası için basınç ve hız dağılımı

### 3.1.2. Su ve CuO Nanoakışkanı İçin Elde Edilen Sonuçlar

Bağlantı parçaları ele alındığında, iki farklı türbülans modeli için hesaplanan yerel kayıp katsayı değerleri Tablo 5 ve Tablo 6'da gösterilmiştir. Tablolar incelendiğinde, ani daralma ve ani genişleme bağlantı parçası için, nanoakışkanın hacim konsantrasyonu arttıkça, kayıp katsayısının da arttığı görülmektedir.

Tablo 5. Bağlantı Parçalarının Kayıp Katsayıları,  $K_k$ ,  $k - \epsilon$  modeli (CuO)

Akışkanlar	Kayıp Katsayıları, $K_k$	
	Ani daralma	Ani genişleme
Su+ %1 CuO	0.5321	0.632
Su+ %2 CuO	0.5482	0.666
Su+ %4 CuO	0.6010	0.730

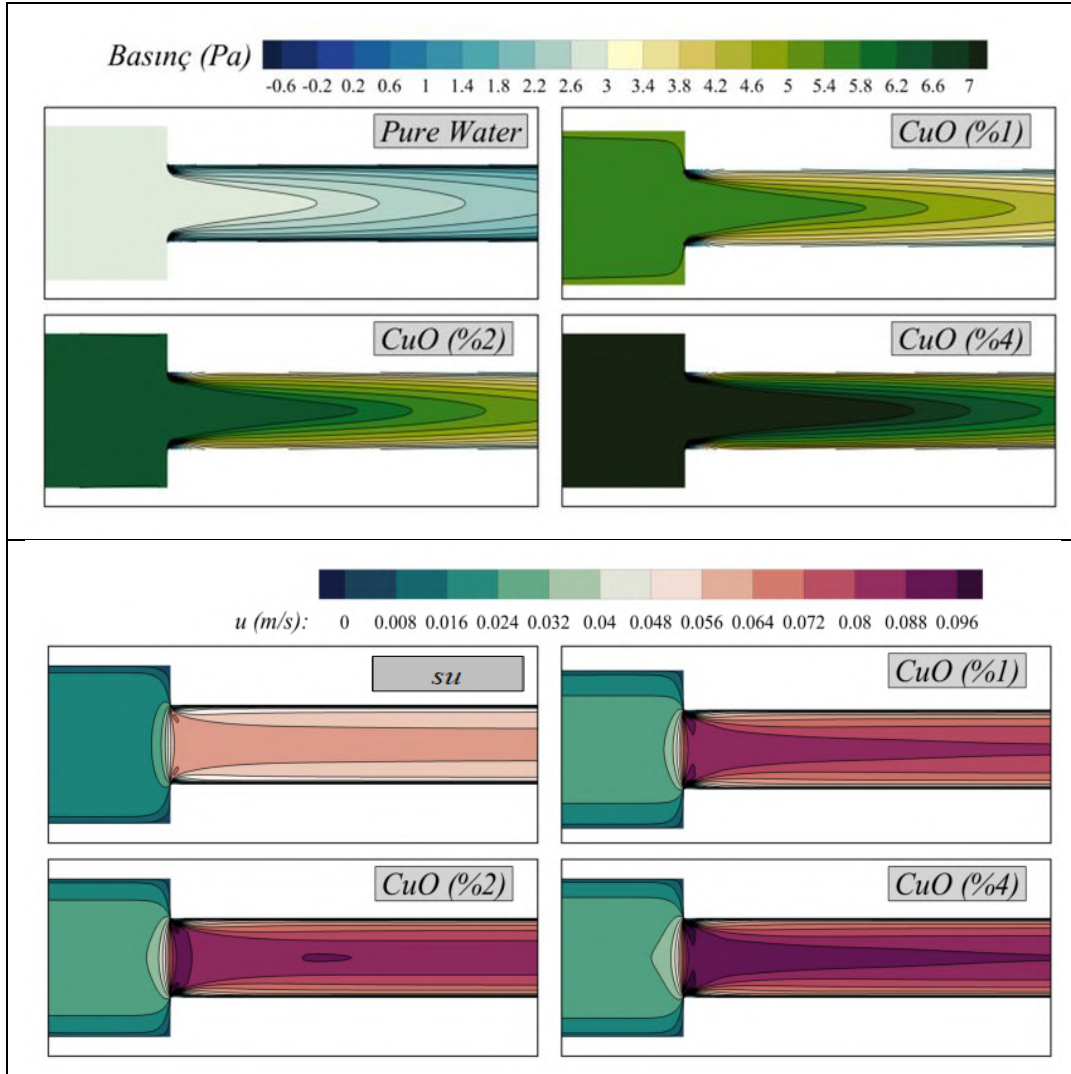
Tablo 6. Bağlantı Parçalarının Kayıp Katsayıları,  $K_k$ ,  $k - \omega$  Modeli (CuO)

Akışkanlar	Kayıp Katsayıları, $K_k$	
	Ani daralma	Ani genişleme
Su+ %1 CuO	0.4467	0.673
Su+ %2 CuO	0.4693	0.707
Su+ %4 CuO	0.5145	0.775

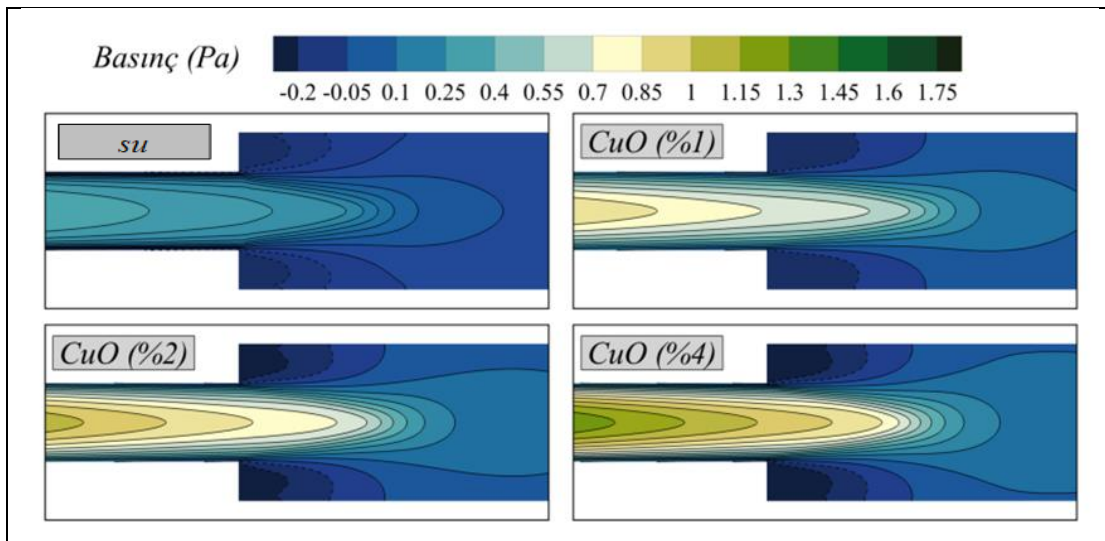
Şekil 4'te ani daralma bağlantı parçasının basınç ve hız dağılımları görülmektedir. Ani girdap kopmalarından kaynaklı enerji kayıplarından dolayı, basınçta oldukça fazla bir artış meydana gelmiştir. Girişte basınç 2.6 Pa mertebesindeyken, çıkışta basınç 7 Pa mertebesine kadar ulaşmıştır. Ani daralma bağlantı parçasının basınç ve hızlarında diğer bağlantı parçalarına oranla daha fazla artış olduğu görülmüştür. Bu da pompalama gücünün en fazla bu bağlantı parçasında artacağı anlamına gelmektedir. Girişte hız 0.024 m/s iken çıkışta 0.096 m/s değerine kadar ulaşmıştır. Şekil 5'te görüldüğü gibi her bir bağlantı

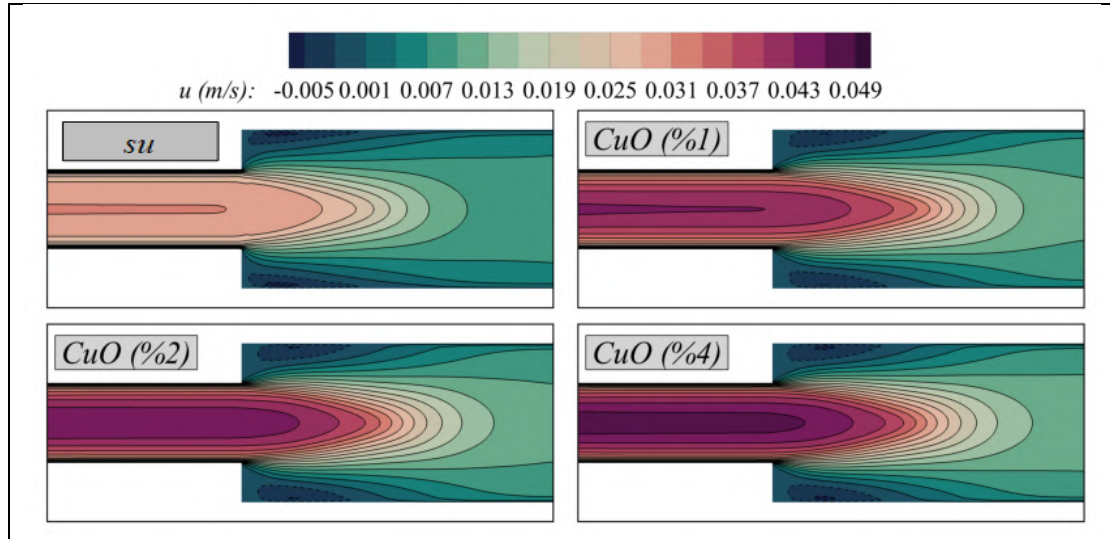
parçasının girişinden çıkışına doğru yönelirken basınç değerlerinde ani bir düşüş gözlenmiştir. Konsantrasyon bazında değerlendirildiğinde ise, her bir bağlantı parçası için giriş çapındaki basınç değerinin arttığı görülmektedir. Konsantrasyon

arttıkça hız değerleri de artmıştır. her bir bağlantı parçası için düşünüldüğünde, giriş çapındaki hız değerinin çıkışa doğru gidildikçe aniden düştüğü, özellikle ani girdap kopmasının yaşandığı köşelerde dağılımın sıklaştığı görülmüştür.



Şekil 4. Ani Daralma Bağlantı Parçası için basınç ve hız dağılımları (CuO)





Şekil 5. Ani Genişleme Bağlantı Parçası için basınç ve hız dağılımları (CuO)

### 3.1.3. Su ve TiO<sub>2</sub> Nanoakışkan İçin Elde Edilen Sonuçlar

Tablo 7 ve Tablo 8, Su + TiO<sub>2</sub> nanoakışkan için hesaplanan basınç kaybını ve yerel kayıp katsayılarını içermektedir. İki farklı türbülans modelinde de nanoakışkan hacim konsantrasyonu arttıkça bağlantı parçasındaki yerel kayıp katsayılarının arttığı görülmektedir.

Tablo 7. Bağlantı Parçalarının Kayıp Katsayıları, K<sub>k</sub>, k - ε modeli (TiO<sub>2</sub>)

Akışkanlar	Kayıp Katsayıları, K <sub>k</sub>	
	Ani daralma	Ani genişleme
Su+ %0.05 TiO <sub>2</sub>	0.6076	0.647
Su+ %0.1 TiO <sub>2</sub>	0.6506	0.693
Su+ %0.3 TiO <sub>2</sub>	0.8247	0.879
Su+ %0.5 TiO <sub>2</sub>	1.369	3.282

Tablo 8. Bağlantı Parçalarının Kayıp Katsayıları, K<sub>k</sub>, k - ω modeli (TiO<sub>2</sub>)

Akışkanlar	Kayıp Katsayıları, K <sub>k</sub>	
	Ani daralma	Ani genişleme
Su+ %0.05 TiO <sub>2</sub>	0.6804	0.690
Su+ %0.1 TiO <sub>2</sub>	0.7292	0.739
Su+ %0.3 TiO <sub>2</sub>	0.9244	0.957
Su+ %0.5 TiO <sub>2</sub>	1.1191	1.135

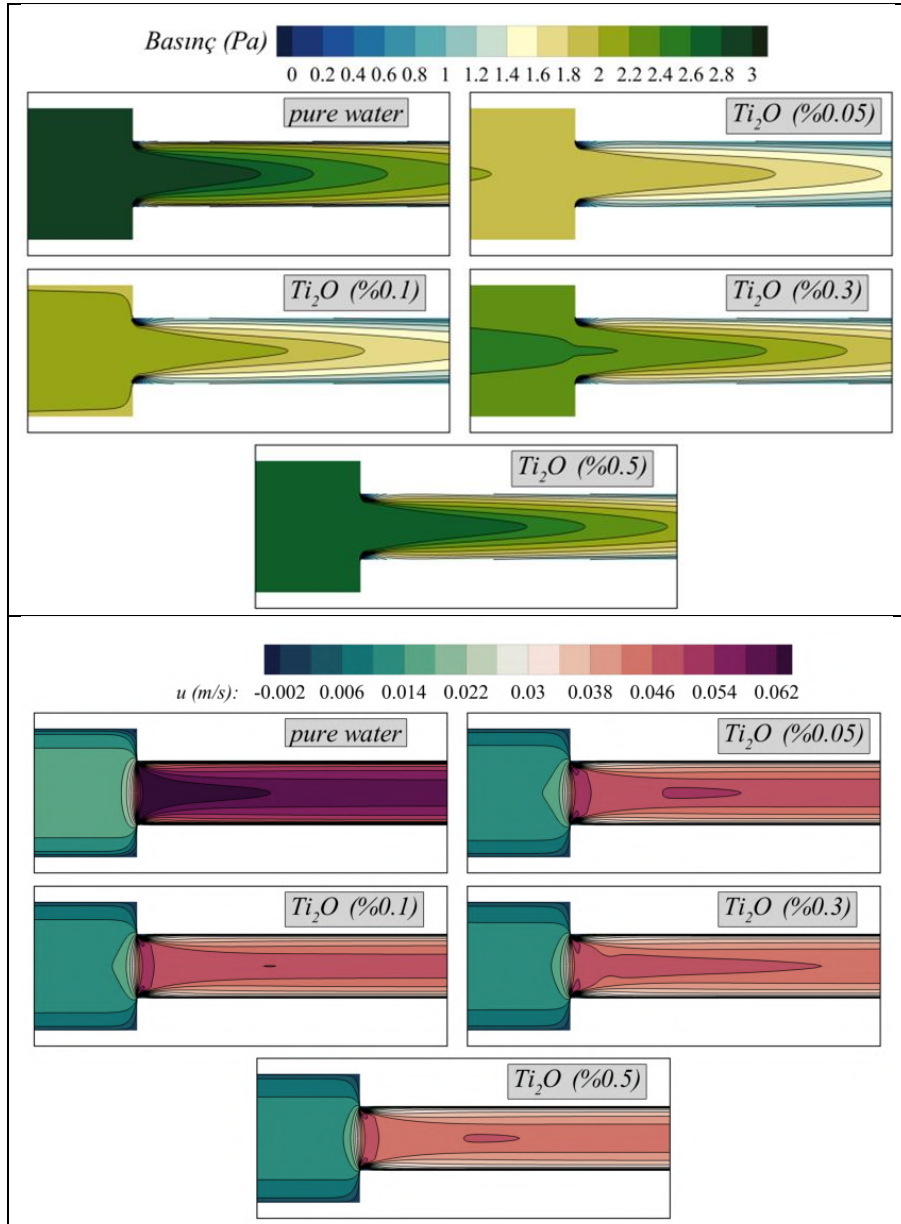
Şekil 6'da görüldüğü gibi ani girdap kopmalarının olduğu yerlerde basınç değerleri oldukça fazla artmaktadır. Düşük konsantrasyonlarda 1.6 Pa mertebesinde olan basınç değerinin konsantrasyon artışı ile 2.8 Pa mertebesine kadar çıktığı görülmektedir. Giriş bölgesinde hız değeri 0.022 m/s değerinde iken, kesit daralmasıyla akışın aniden sıkışmasıyla hız değeri 0.054 m/s değerine kadar çıkmıştır.

Şekil 7'de artan nanoakışkan konsantrasyonuna karşı basınç değerlerinin arttığı özellikle basınç dağılımlarının sıklaştığı görülmektedir. Ani genişleme bağlantı parçası için giriş çapında yüksek basınç değerleri görülürken, özellikle büyük enerji kayıplarının olduğu köşelerde ve alt kısımlarda basınç değerlerinin ani bir şekilde düştüğü gözlenmiştir. Hız dağılımları incelendiğinde yine konsantrasyon artışı ile hızın arttığı gözlenmiştir.

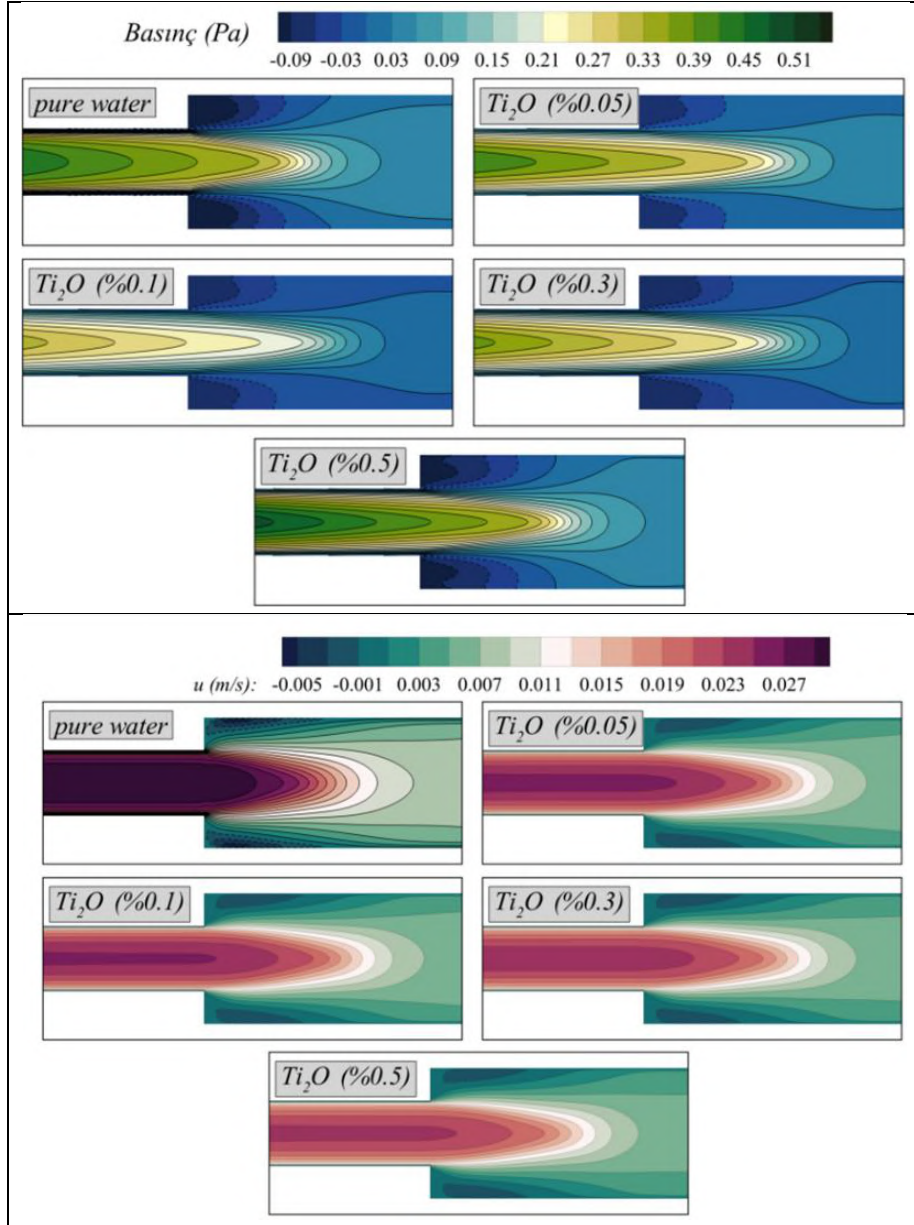
TiO<sub>2</sub> nanoakışkanın 4 farklı hacim konsantrasyonu da ele alındığında konsantrasyonun artışı ile basınç farkının da arttığı görülmektedir. Basınç farklarıyla hesaplanan yerel kayıp katsayı değerinin de arttığı görülmüştür.

### 3.2. Farklı Nanoakışkanların Farklı Konsantrasyonlarında Pompa Gücü

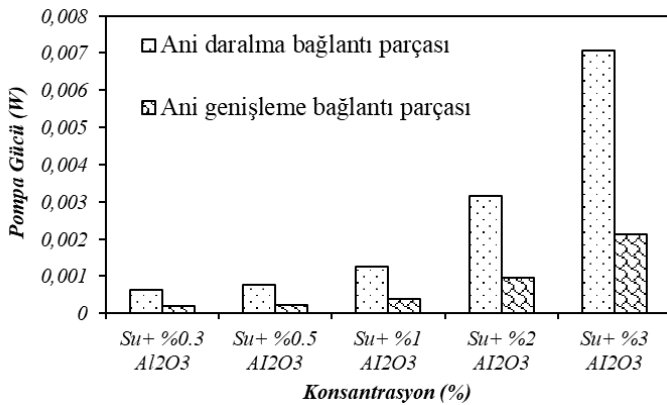
Eşitlik 12 kullanılarak farklı nanoakışkanların artan hacimsel konsantrasyonlarında pompa güçleri hesaplanmıştır. Hesaplar sonucunda elde edilen grafikler Şekil 14,15 ve 16'da verilmiştir.



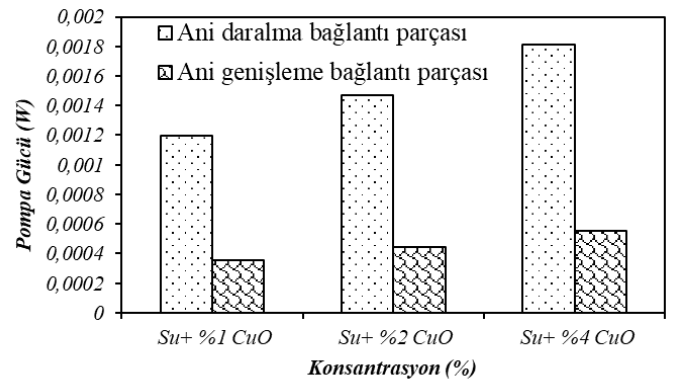
Şekil 6. Ani daralma bağlantı Parçası için basınç ve hız dağılımları (TiO<sub>2</sub>)



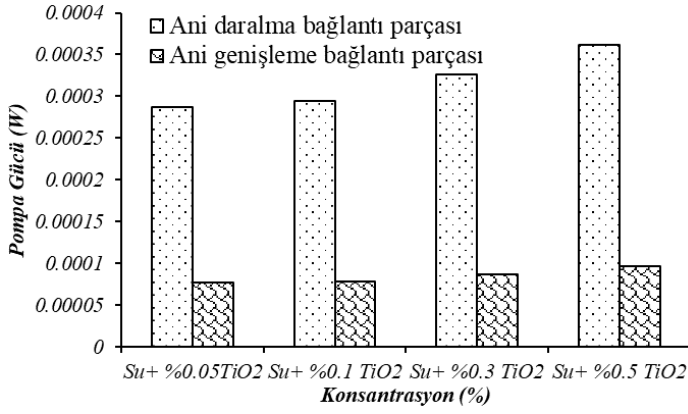
Şekil 7. Ani Genişleme Bağlantı Parçası için basınç ve hız dağılımları ( $TiO_2$ )



Şekil 8.  $Al_2O_3$  nanoakışkanının farklı konsantrasyonlarda pompa gücünün (W) artışı



Şekil 9  $CuO$  nanoakışkanının farklı konsantrasyonlarda pompa gücünün (W) artışı



Şekil 10 TiO<sub>2</sub> nanoakışkanının farklı konsantrasyonlarda pompa gücünün (W) artışı

Grafikler incelendiğinde artan hacim konsantrasyonu ile pompa gücünün de arttığı görülmektedir. Bağlantı parçalarındaki yük kaybı geometriye bağlıdır. Ani daralma gibi keskin kenarlı bir giriş, bağlantı parçasına girerken akışkanın hız yükünün yarısının kaybolmasına neden olur. Boru içerisindeki akış, 90° gibi keskin dönüşleri kolayca yapamaz. Ve bağlantı parçasının köşelerinde akış ayrılmaları oluşur, akış bağlantı parçasının orta noktasındaki daralmış kesite sıkıştırılır. Akışkan sıkıştığından hız artar ve oluşan türbülansın girdaplarından dolayı bir kinetik enerji meydana gelir. Bu kinetik enerjideki sürtünme kayıplarının ısıya dönüşmesi ve bu ani girdap kopmalarından dolayı bağlantı parçalarının giriş ve çıkıştaki belirlenen noktalar arasında basınç farkı çok fazla olmuş olur. Hacimsel konsantrasyon arttıkça nanoakışkan viskozitesi de artmaktadır. Pompa gücü için Reynolds sayısı, giriş hızı, hacimsel debi, basınç farkı gibi faktörler büyük önem taşımaktadır. Konsantrasyon arttıkça, gerekli duyulan pompa gücü de kayıpların atışı ile artmıştır.

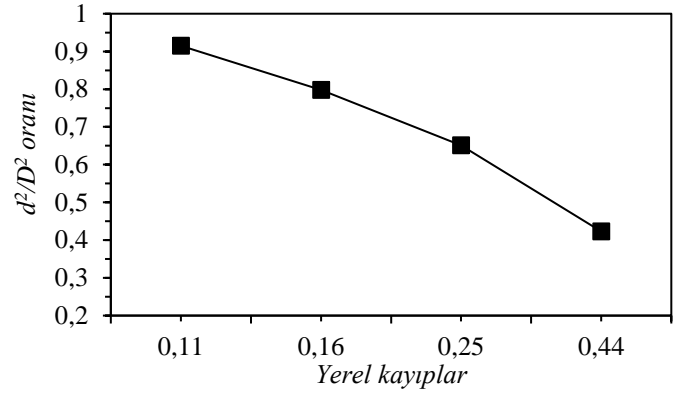
### 3.3. Farklı Ani Genişleme Bağlantı Parçasının Kayıp Katsayısı

Ani genişleme bağlantı parçası ele alındığında yerel kayıp katsayısı giriş ve çıkış oranına göre değişmektedir (Çengel vd., 2008). Yerel kayıpların incelenmesinde düz borudan olan sürekli kayıplara ek olarak dirsek bağlantı parçası, T bağlantı parçası, L bağlantı parçası ve redüksiyon gibi boru ekleme parçalarından olan basınç kayıpları da yerel kayıp olarak değerlendirilir. Boru ve boru parçalarının giriş ve çıkış çapları arasındaki oran da aslında yerel kayıpların belirlenmesinde çok önem arz etmektedir. Aşağıda dört farklı redüksiyon parçası (ani genişleme bağlantı parçası) fluent ANSYS programı kullanılarak çizilmiştir. Bu parçaların içerisinde su yerine piyasa en çok kullanılan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoakışkanının %3'lük konsantrasyonu kullanılmıştır. Burada kullanılan bağlantı parçalarının giriş çapları 20 cm çıkış çapları ise sırayla 30 cm, 40 cm, 50 cm ve 60 cm'dir. Akış incelemesi Reynolds sayısı 5000 için yapılmış ve türbülans modeli olarak k-ε RNG modeli kullanılmıştır.

Redüksiyon parçası ele alındığında giriş ve çıkış çapları arasında artış oranı azaldıkça yerel kayıpların arttığı görülmüştür. Çıkış çapı arttıkça basınç değeri azaldığından yerel kayıplar da azalmıştır.

Çizelge 4. Ani Genişleme Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, Re=5000 k-ε RNG Modeli

Bağlantı parçalarının giriş ve çıkış çapları oranı ( $d^2/D^2$ )	( $K_k$ )
0.44	0.423
0.25	0.651
0.16	0.798
0.11	0.915



Şekil 11 Farklı ani genişleme bağlantı parçası yerel kayıp katsayısı grafiği

## 4. Sonuç

Yapılan bu çalışmada endüstrinin hemen hemen her alanında kullanılan bağlantı parçalarının içerisinde nanokakışkan geçirilip yerel kayıp katsayıları değerlendirilmiştir. Sayısal analiz sonucunda elde edilen veriler, teorik hesaplarla doğrulanmıştır. Ani daralma ve ani genişleme bağlantı parçalarının içerisinde alüminyum, bakır ve titanyum esaslı parçacıklar geçirilip basınç kayıpları sayısal olarak hesaplanmıştır. Konsantrasyon artışı ile yerel kayıp katsayısının ve basınç düşüşünün arttığı görülmüştür. Yerel kayıp katsayısının artışının Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Ti<sub>2</sub>O, CuO nanoakışkanlarının termofiziksel özellikleri ve akışın türbülanslı olmasıyla ilişkili olabileceği görülmüştür. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (%0.3, %0.5, %1, %2, %3), Ti<sub>2</sub>O (%0.05, %0.1, %0.3, %0.5) ve CuO (%1, %2, %4) nanoakışkanlarında incelenen birçok farklı modelde hacim konsantrasyonlarındaki artışa bağlı olarak dinamik viskozitenin artışı ile basınç farkının da arttığı görülmüştür. Sayısal çözümlerinde k-ε, k-ω Standard türbülans modeli olmak üzere iki farklı model kullanılmıştır. Her iki bağlantı parçası için en uygun modelin k-ε modelinin uygun sonuçları verdiği doğrulanmıştır.

## 5. Özel Not

Sunulan bu çalışma Mürüvvet Avcı'nın Dr. Nehir TOKGÖZ danışmanlığında yürüttüğü yüksek lisans tezinin bir parçasıdır.

## Kaynakça

- Artuç, M. (2007). *Nanoakışkanların ısı iletkenliklerinin ölçülmesi*. Yüksek Lisans Tezi.
- Awang, M. T. (2010). *Development of Regression Equation for Heat Capacity and Density of Nanofluids Properties*. Universiti Malaysia Pahang.

- Bedir, Ö. (2013). *Sabit Isı Akılı Yatay Bir Boruda Zorlanmış Türbülanslı Akışta Nanoakışkanların Sayısal İncelenmesi*. Doktora Tezi.
- Bergles, A. (1983). Augmentation of Heat Transfer. Heat Exchanger Design Handbook. *Hemisphere Publishing, New York, secs, 2(11)*, 489-501.
- Bianco, V., Chiacchio, F., Manca, O., & Nardini, S. (2009). Numerical investigation of nanofluids forced convection in circular tubes. *Applied Thermal Engineering, 29(17-18)*, 3632-3642.
- Choi, S. U., & Eastman, J. A. (1995). *Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles*. Retrieved from
- Çengel, Y. A., Cimbala, J. M., & Engin, T. (2008). *Akışkanlar mekaniği: temelleri ve uygulamaları*: Güven Kitabevi.
- Duangthongsuk, W., Yiamsawasd, T., Selim Dalkilic, A., & Wongwises, S. (2013). Pool-boiling heat transfer characteristics of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-water nanofluids on a horizontal cylindrical heating surface. *Current Nanoscience, 9(1)*, 56-60.
- Ganvir, R., Walke, P., & Kriplani, V. (2017). Heat transfer characteristics in nanofluid—a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 75*, 451-460.
- Gavtash, B., Hussain, K., Layeghi, M., & Lafmejani, S. S. (2012). Numerical simulation of the effects of nanofluid on a heat pipe thermal performance. *International Journal of Mechanical and Mechatronics Engineering, 6(8)*, 1462-1468.
- Hassanzadeh, R., & Tokgoz, N. (2017). Thermal-hydraulic characteristics of nanofluid flow in corrugated ducts. *Journal of Engineering Thermophysics, 26(4)*, 498-513.
- Hosseini, S. S., Shahrjerdi, A., & Vazifeshenas, Y. (2011). A review of relations for physical properties of nanofluids. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 5(10)*, 417-435.
- Kakaç, S., & Pramuanjaroenkij, A. (2016). Analysis of convective heat transfer enhancement by nanofluids: single-phase and two-phase treatments. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics, 89(3)*, 758-793.
- Kulkarni, D. P., Namburu, P. K., & Das, D. K. (2016). Comparison of heat transfer and fluid dynamic performance of nanofluids. *Une, 13*, 15.
- Gedik, E., Kayfeci, M., Keçebaş, A., Kurt, H. (2017). Dairsel bir boruda Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/su ve Tio<sub>2</sub>/su nanoakışkanların laminer zorlanmış ısı taşınımı, *TTMD Dergisi*, 48-53,
- Murshed, S., Leong, K., & Yang, C. (2008). Thermophysical and electrokinetic properties of nanofluids—a critical review. *Applied Thermal Engineering, 28(17-18)*, 2109-2125.
- Özbey, M. (2016). Experimental study on pressure drop of aluminum-oxide/water nanofluids. *Journal of Thermophysics and Heat Transfer, 30(2)*, 342-349.
- Şahin, B., Çomaklı, K., Çomaklı, Ö., & Yılmaz, M. (2006). Nanoakışkanlar ile ısı transferinin iyileştirilmesi. *Mühendis ve Makina, 47(559)*, 29-34.
- Timofeeva, E. V., Yu, W., France, D. M., Singh, D., & Routbort, J. L. (2011). Nanofluids for heat transfer: an engineering approach. *Nanoscale research letters, 6(1)*, 1-7.
- Tokgöz, N., Alıç, E., Kaşka, Ö., & Aksot, M. (2018). The numerical study of heat transfer enhancement using Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-water nanofluid in corrugated duct application.
- Vajjha, R., Das, D., & Mahagaonkar, B. (2009). Density measurement of different nanofluids and their comparison with theory. *Petroleum Science and Technology, 27(6)*, 612-624.
- Wilcox, D. C. (1988). Reassessment of the scale-determining equation for advanced turbulence models. *AIAA journal, 26(11)*, 1299-1310.





# Phyto-Synthesized Silver Nanoparticle Toxicity Effect on Aquatic Plant *Lemna minor* L.

Zeynep Inci Kocer<sup>1</sup>, Melisa Ayısıgi<sup>2</sup>, Selin Haseki<sup>3</sup>, Lale Yıldız Aktas<sup>4\*</sup>

<sup>1\*</sup> Ege University, Faculty of Science, Department of Biology, Bornova, Izmir-Turkey (ORCID: 0000-0002-2932-6560), inci.zynp@gmail.com

<sup>2\*</sup> Ege University, Faculty of Science, Department of Biology, Bornova, Izmir-Turkey (ORCID: 0000-0002-9243-2681), melisaayisigi@gmail.com

<sup>3\*</sup> Ege University, Faculty of Science, Department of Biology, Bornova, Izmir-Turkey (ORCID: 0000-0002-6941-8910), selin.haseki.as@gmail.com

<sup>4\*</sup> Ege University, Faculty of Science, Department of Biology, Bornova, Izmir-Turkey (ORCID: 0000-0003-0815-8470), lale.yildiz@ege.edu.tr

(First received 17 August 2021 and in final form 4 November 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.980995)

**ATIF/REFERENCE:** Kocer, Zi., Ayısıgi, M., Haseki, S. & Yıldız Aktas, L. (2021). Phyto-Synthesized Silver Nanoparticle Toxicity Effect on Aquatic Plant *Lemna minor* L. *European Journal of Science and Technology*, (27), 1087-1094.

## Abstract

Silver nanoparticles (AgNPs) are made up about 55% of all nanomaterials produced and are widely used in consumer products. Its is inevitable that these particles are released to the aquatic environment during production, use and disposal. In this study, subacute toxicity of AgNPs obtained by phyto-synthesis was investigated on *Lemna minor* L. (duckweed) plants. The formation of AgNPs obtained from laurel (*Laurus nobilis* L.) extract was determined by UV-VIS spectrophotometric measurements. The AgNPs synthesized by the phyto-synthesis method were characterized by Fourier transform infrared spectroscopy (FT-IR), Zeta size and potential, Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry and Scanning electron microscopy (SEM-EDS) analysis. The analysis results show that AgNPs are homogeneously distributed, spherical in shape with an average size of 34 nm and coated with phyto-content. For toxicity tests, plant stock cultures were grown in the climate room according to OECD 221 guidelines. After 8 weeks of acclimation, the plants were treated with AgNP concentrations ranging from 0.005 to 50 mg L<sup>-1</sup> for 7- and 14-days. The increase in AgNP concentration caused a decrease in frond numbers. Growth inhibition data showed that the EC<sub>50</sub> value of phyto-synthesized AgNP was 4.78 mg L<sup>-1</sup> and the lowest observed effect concentration (LOEC) was 0.5 mg L<sup>-1</sup> for 7-days. AgNP concentrations below LOEC level (0.05, to 0.5 mg L<sup>-1</sup>) caused a significant decrease in growth rate by 20.07% after 7 days of exposure while it was found 4.03% for 14-days treatment at the highest AgNP concentration (0.5 mg L<sup>-1</sup>). Similar trend was observed in fresh-and dry weight of plants indicating prolonged exposure time triggering tolerance mechanism which was corroborated by chlorophyll a/b and carotenoids content results. Based on higher NOEC, LOEC and EC<sub>50</sub> values, phyto-synthesized AgNP usage may lead less environmental toxicity.

**Keywords:** Silver Nanoparticle, *Lemna minor*, Nanotoxicity, Phyto-synthesis.

## Sucul Bitki *Lemna minor* L. Üzerinde Fito-Sentezlenmiş Gümüş Nanopartikül Toksisitesi Etkisi

### Öz

Gümüş nanopartiküller (AgNP) üretilen tüm nanomalzemelerin yaklaşık %55'ini oluşturmakta ve tüketici ürünlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu nanopartiküllerin üretim, kullanım ve bertaraf sırasında su ortamına salınması kaçınılmazdır. Bu çalışmada, fito-sentez yoluyla elde edilen AgNP'lerin *Lemna minor* L. (su mercimeği) bitkileri üzerinde subakut toksisitesi araştırılmıştır. Defne (*Laurus nobilis* L.) ekstraktı kullanılarak elde edilen gümüş nanopartiküllerin oluşumu UV-VIS spektrofotometrik ölçümüyle belirlenmiştir. Fito-sentez yöntemiyle sentezlenen AgNP'ler, Fourier transform infrared spectroscopy (FT-IR), Zeta boyut ve potansiyeli, Taramalı elektron mikroskobu Inductively Coupled Plasma Kütle Spektrometrisi (ICP) and Scanning electron microscopy (SEM-EDS) analizi ile karakterize edilmiştir. Analiz sonuçları, AgNP'lerin homojen olarak dağıldığını, ortalama 34 nm büyüklüğünde küresel şekilli olduğu ve bitkisel içerik ile kaplandığını göstermiştir. Toksikite testleri için bitki stok kültürleri, OECD 221 yönergesine göre iklim odasında yetiştirilmiştir. 8 haftalık alıştırma aşamasından sonra, bitkilere 7 ve 14 gün boyunca 0.005 ila 50 mg L<sup>-1</sup> arasında değişen AgNP konsantrasyonları uygulanmıştır. Uygulanan AgNP konsantrasyonundaki artış yaprak sayılarında azalmaya neden olmuştur. Büyüme inhibisyonu verileri, fito-sentezlenen AgNP'nin EC<sub>50</sub> değerinin 4.78 mg L<sup>-1</sup> ve 7 gün boyunca gözlemlenen en düşük etki konsantrasyonunun (LOEC) 0.5 mg L<sup>-1</sup> olduğunu göstermiştir. LOEC seviyesinin altındaki AgNP konsantrasyonlarında, 7 günlük uygulama sonrasında en yüksek AgNP konsantrasyonu (0.5 mg) büyüme oranında %20.07'lik önemli bir düşüşe neden olurken, 14 günlük uygulama sonucu büyüme oranının %4.03 azaldığı belirlenmiştir. Benzer bir eğilim, bitkilerin taze ve kuru ağırlıklarında gözlemlenmiştir. Bu durum, uzun maruz kalma süresinin (14 gün) bitkide tolerans mekanizmasının tetikleyebileceğini, klorofil a/b ve karotenoid içeriği sonuçları ile de uyumlu olarak, işaret etmektedir. Yüksek NOEC, LOEC ve EC<sub>50</sub> değerleriyle, fito-sentezlenmiş AgNP kullanımının daha düşük çevresel toksisiteye yol açabileceği sonucuna varılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Gümüş Nanopartikül, *Lemna minor*, Nanotoksosite, Fito-sentez.

## 1. Introduction

The production and application of nanoparticles (NPs) has increased in consumer products. Although there is an increase in nanoparticle usage, the effects and behaviour of NPs in the environment have not been completely reviewed (Bundschuh et al., 2018). Among metal nanoparticles silver nanoparticle (AgNP) is the most diversely used one in many areas from textile to agriculture (Vance et al., 2015, Ayisigi et al., 2020).

Silver has been reported as a hazardous substance due to the toxicity of its dissolved or ionic forms in many organisms (Reinfelder and Chang, 1999). It has been pointed out; the same toxicity has been harnessed in the form of AgNPs. However, it also has been suggested that the toxicity of AgNPs could be the result of physical or chemical production methods which are costly and involve toxic materials (Khoshnamvand, et al., 2020). Hence, there is a need to develop eco-friendly and less costly synthesis methods for NPs. Biologically synthesized NPs were referred as green materials since they avoid the use of toxic chemicals compared to physically or chemically synthesized NPs (Huo et al., 2016). Moreover, it has been mentioned, the coating agents of biologically synthesized NPs are biological components that presented low toxicity (Newton et al., 2013).

In addition to the synthesis methods, parameters like nanoparticle concentration, temperature, composition in chemical salts, ionic strength, and pH affects agglomeration or stabilization of metallic nanoparticles in an aqueous solution is important to determine nanotoxicity (Jiang et al., 2009). Furthermore, the nanoparticle physicochemical properties such as the size, charge at particle surface, shape, the solubility of particles, finally chemical composition surface structure and area determine the bioavailability, uptake and toxicity potential within aquatic organisms for metallic nanoparticles (Oukarroum et al., 2013).

*L. minor* grows temperate regions and are often used for toxicity tests. The species has a floating or sunken discoid stem (leaf) and a stem emerges from under each leaf. Although flower formation is very rare in *Lemna spp.*, and the plants produce new leaves vegetatively. Compared to older plants, younger ones tend to be paler, and the roots are shorter. *Lemna's* small size, simple structure, asexual and short reproduction make the plants of this genus very suitable for laboratory tests (OECD 221, 2006). *L. minor*, aquatic plant, usually used to determine the impacts for a variety of substances released to the environment and recently they are being used to evaluate the toxic effects of NPs (Minogiannis et al., 2019).

The present study aimed to investigate toxic effects of AgNPs produced by environmentally friendly biological synthesis, which have become widespread in recent years, to aquatic ecosystems, on *L. minor*, a model aquatic plant.

## 2. Material and Method

### 2.1. Synthesis and Characterization of Silver Nanoparticles (AgNPs)

AgNP was synthesized by using laurel (*Laurus nobilis* L.) leaf extract with phyto-synthesis method. Laurel leaves were powdered in liquid nitrogen and homogenized by mixing 100 ml of pure water at 60°C for 10 minutes. The filtered laurel extract was mixed with 1 mM AgNO<sub>3</sub> solution at a ratio of 9:1

(AgNO<sub>3</sub>/extract) at 90°C for 2 hours. The synthesis of AgNP was completed after the colour of solution turned to brown.

The synthesized AgNPs were characterized by different physicochemical techniques like UV-VIS, FT-IR, ICP-MS, Zeta-Sizer, Zeta-Potential, and SEM analysis. Synthesis of nanoparticles were determined by the detection of the absorbance between 400-435 nm, the specific localized surface plasmon resonance peak for AgNPs, with UV- VIS Spectroscopy (Thermo Scientific, UK). Fourier transform infrared spectroscopy (FT-IR) (FT-IR 8000 Series, Shimadzu, Japan) was used to identify the organic components of AgNPs come from laurel extract that coats the nanoparticles. The silver content of the nanoparticle was determined quantitatively and qualitatively by Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometer (ICP-MS) analysis (Agilent, 7500ce, USA). The surface potential and size of the nanoparticles were determined by zeta sizer-potential analysis (Malvern, UK). The shape and size of the nanoparticles were determined by imaging with a scanning electron microscope (SEM) and they were observed under high vacuum and 7.5 kV for Energy Dispersive X-Ray spectroscopy (EDS) study (Thermo Scientific, Apreo S-USA).

### 2.2. Cultures of *L. minor* plants

*L. minor* plant was obtained from Ege University Botanical Garden (Izmir-Turkey) and subjected to 8 weeks of acclimation under sterile conditions in 250 ml flasks containing 100 ml of Steinberg medium (Brain and Solomon., 2007). Stock cultures were transferred to fresh and sterile medium in every 7-10 days. The plants were cultured under a cold white fluorescent lamp with a light intensity of 6500-10000 lux at a temperature of 24 ± 2 °C in a 16:8 photoperiod (OECD 221, 2006).

For growth inhibition tests, 4 *L. minor* plants, each with 3 fronds were treated in petri dishes with a diameter of 60 mm containing 10 ml (AgNP solution + Steinberg medium) for 7 and 14 days. The solution inside of each petri dish was renewed every 24 hours to allow plants to be exposed to initial AgNP concentrations (Brain and Solomon., 2007). All experiments had four replicates.

### 2.3. Toxicity parameters

Biologically synthesized AgNPs' toxicological parameters on the *L. minor* plant were determined by vegetative growth data; growth inhibition, fresh-dry weight, and chlorophyll content. To determine the effects of AgNP exposure time on the plant, 7 and 14-day subacute toxicity evaluations were performed with different concentrations.

Short term toxicity of AgNP was determined by exposing the colonies to AgNP (0.1, 0.5, 1, 5, 10, 50 mg L<sup>-1</sup>) for 7 days. At the end of exposure period 50% growth inhibition concentration (EC<sub>50</sub>), the lowest observed effect concentration (LOEC) and the no observed effect concentration (NOEC) were determined.

After the initial determination of LOEC, *L. minor* plants were subjected to lower concentrations (0, 0.005, 0.05, 0.5 mg L<sup>-1</sup>) of AgNPs for 7 and 14 days of to evaluate effect on biosynthetic reactions by measuring fresh-dry weight and photosynthetic pigment content level in details.

#### 2.3.1. Growth Parameters

At the end of the test period, regardless of the size, each frond was counted. The plants in each petri dish were photographed with a Dino Capture camera microscope (Dino-Lite Microscope

USB, Taiwan). Fresh weight measurements were carried out after all colonies in an experimental group were washed with distilled water. Washed colonies were surface dried on filter papers and fresh weights were recorded. The dry weight measurements were performed by drying colonies in the oven for 24 hours at 60°C.

**Growth rate:** The leaves of the control and AgNP treated groups were counted at the end of the test period. *L. minor* Average Growth Rate ( $d^{-1}$ ) was calculated according to the formula (OECD 221, 2006) given below:

$$\mu_{i-j} = \frac{\ln(N_j) - \ln(N_i)}{t_j - t_i}$$

$N_j$  and  $N_i$  are the number of leaves at the end and beginning of the experiment, respectively.

**Growth Inhibition Rate:** To assess the potential toxic effect of the tested materials, the Growth Inhibition Rate (IGR) was calculated based on the number of frond measurements according to the formula given below (OECD 221, 2006):  $\mu_c$  and  $\mu_r$  are the average number of fronds in the experiments with control and AgNP, respectively.

$$IGR = \frac{(\mu_c - \mu_r)}{\mu_c} \times 100,$$

**Effective Concentration (EC<sub>X</sub>):** The EC<sub>X</sub> value is the concentration of dissolved test substance in the test environment and represents the x% reduction in *L. minor* population over a given exposure time. EC<sub>50</sub> value indicates that the given concentration of test substance had adverse effect on half of the *L. minor* population over a given exposure time. EC<sub>50</sub> value of AgNP was calculated from IGRs by Probit Analysis according to OECD 221 (2006) guidelines.

### 2.3.2. Chlorophyll and total carotenoid content

Photosynthetic pigment content of plants treated with AgNPs were determined according to the modified Arnon (1949) method. 0.1 g of plant leaves are homogenized with 80% (w/v) cold acetone solution inside of an eppendorf with a help of a baguette. The resulting homogenate was centrifuged at 4500 rpm +4 °C for 15 minutes, then absorbance of supernatant at 663, 645 and 470 nm wavelengths were read.

### 2.4. Statistical analysis

Randomized complete block design was used for experimental design with five replicates. "Statistical Package for Social Sciences (SPSS for Windows 24.0)" program was used to determine the standard error values of the data and to evaluate the differences between means. The differences between the averages were evaluated using one-way ANOVA tests, LSD test with  $P < 0.05$  significance level.

## 3. Results and Discussion

AgNPs constitute the largest group of nanomaterials, covering approximately 55% of all nanoparticles produced (Quadros et al., 2011). After being used in different areas, AgNPs get involved in the environment by mixing with surface waters eg. lakes, streams and rivers. In addition, AgNPs from consumer products may release silver ions ( $Ag^+$ ), which are highly toxic for aquatic organisms, can be leaked into the environment. Therefore, the production and use of AgNPs raise concerns about their environmental impact due to  $Ag^+$  toxicity. In this study, the subacute toxicity effects of AgNP obtained by phyto-synthesis from laurel plant (*Laurus nobilis*) were investigated on the model

aquatic plant *L. minor* by performing growth parameters and photosynthetic pigments experiments.

### 3.1. Characterization of AgNPs

AgNPs typically exhibit specific surface plasmon resonance at wavelengths between 400–450 nm (Jyoti et al., 2016). According to spectrophotometric measurements, the highest peak values were obtained was between 400 and 435 nm indicating that AgNPs were formed (Figure 1a).

FT-IR analysis provides the information about the organic compounds that are present on the nanoparticles, which may take a part in the reduction of silver ions to AgNPs and capping of the nanoparticles. Figure 1b shows that FT-IR spectra of laurel extract and phyto-synthesized AgNPs. The extract of *L. nobilis* revealed three different peaks at wave number 3300, 2160 and 650  $cm^{-1}$  which exhibited some degree shift in the corresponding AgNPs. These bands may be attributed to C=C, -OH and C-Br stretching from polyphenolic compounds (Ahmad et al., 2017). The observed peaks at 600  $cm^{-1}$  comes from laurel extract in AgNP that shows C-Br stretching while C=C bending at 665 and 790  $cm^{-1}$  indicating alkene compounds. Also, a peak at 3271  $cm^{-1}$  shows the shift compared to the laurel extract.

The plant molecules which are involved in reduction of metal elements to metal nanoparticles were analysed by the FT-IR study. Plants produce free radical scavenging molecules and other metabolites that are rich in antioxidant activity (phenolics, vitamins, reducing sugar, terpenoids etc.) (Salama, 2012). The shifts in the absorbance show the changes within the bonds. The decrease in the peaks between 3500–3000  $cm^{-1}$  shows that separated -OH bonds which refer to the hydroxyl groups in phenols and alcohols. The peaks between 1250–1000  $cm^{-1}$  reveals the new C-O bonds were formed that might be the result of covered AgNPs. The results showed that nanoparticles are coated with phytocontent (Edison & Sethuraman, 2012). The negative potential value might be the result of the polyphenolic content of the extract based on FT-IR results.

Zeta size and potential analysis provide the information on particle size and overall charge which effect the dispersion and stability of a nanoparticle (Ahmad et al., 2017). The results showed that the particle size was equal to 102.4 nm and well dispersed (Figure 1c). The zeta potential was -27.7 mV for the phyto-synthesized AgNP which indicated that the silver nanoparticles were capped with negatively charged molecules of plant (Figure 1d).

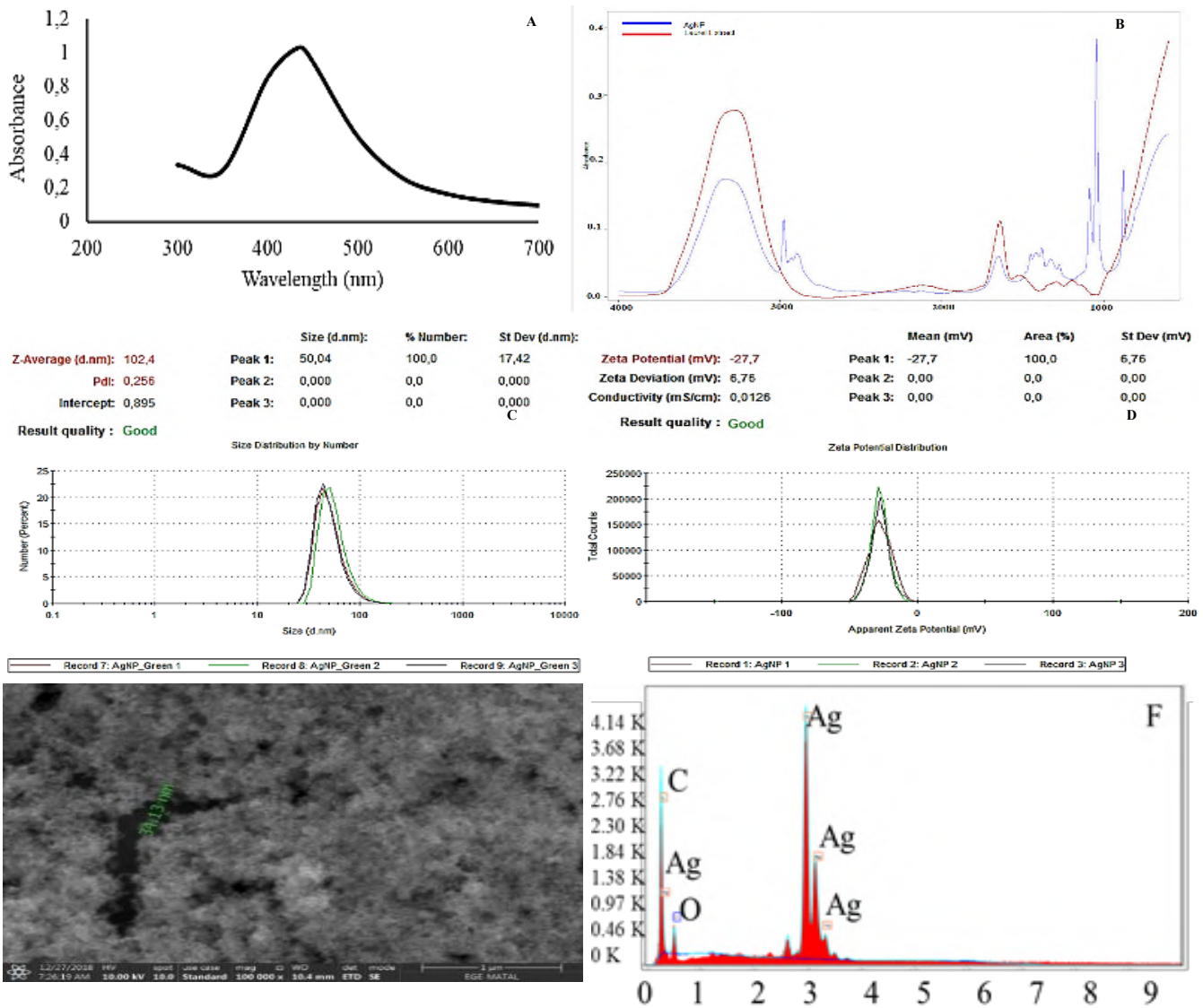
SEM analysis detects the signals created by electron-sample interactions to reveal the information about crystalline structure, external morphology (texture), chemical composition and orientation of materials in the sample by using a focused beam of electrons with high energy to generate different signals at the surface of solid specimens (Argast & Tennis, 2004). Surface morphology, shape, approximate size, and elemental composition of AgNPs were checked through SEM-EDS analysis technique (Figure 1e, f). The AgNPs were spherical in shape with a mean size of 34 nm (Figure 1e). The silver content was found around 94% by using EDS analysis for the phyto-synthesized AgNP (Figure 1f).

The green synthesized AgNPs showed characteristic AgNP surface plasmon resonance peak which is usually located between 400 and 450 nm indicating the formation of nanoparticles (Arshadi et al., 2018). SEM analysis also showed that

nanoparticles are spherical in shape and have a mean size around 34 nm. AgNP particle size distribution was poly-dispersed and have an average diameter 102.4 nm according to results of Zeta size analysis. The involvement of ions and layers of the solvent in the solution to the measurements of the zeta sizer analysis which can be the reason of the diameter difference between SEM and Zeta results (Costa et al., 2018). The electrical charge of the particle diverging from the 0 (zero) value towards + or - is an important value in minimizing the agglomeration between particles. In this study, the negatively charged AgNPs might be the result of polyphenolic content of the laurel leaf extract and their electrostatic interaction with each other can play a part in preventing the possible aggregation, and provide long-term stability (Chowdhury et al., 2016).

The silver concentration in AgNPs was detected as 0.06717 mg in 1 g of dry sample by ICP-MS analysis. These results showed that the highest concentration of AgNP (50 mg L<sup>-1</sup>) had 0.034x10<sup>-3</sup> mg of silver while the lowest concentration (0.005 mg L<sup>-1</sup>) had 3.36 x 10<sup>-7</sup> mg in 10 ml of medium.

ICP-MS results presented there was only 0.67x10<sup>-8</sup> mg mL<sup>-1</sup> of silver in NOEC value of phyto-synthesized AgNP while LOEC concentration of AgNP was 0.34x10<sup>-7</sup> mg mL<sup>-1</sup> silver. Additionally, the amount of silver for EC<sub>50</sub> was found to be as 0.033x10<sup>-5</sup> mg mL<sup>-1</sup>. These results shows that the Ag ion release into the growth media was very low.



**Figure 1.** Characterization of phyto-synthesized AgNPs (a) UV–VIS spectra and specific SPR peak of AgNPs, (b) FT-IR spectra, (c) Zeta size and (d) zeta potential, SEM images of (e) phyto-synthesized AgNPs presents the morphology and size of the nanoparticles, (f) EDS results and Ag percent in the sample.

### 3.2. Toxicity parameters

#### 3.2.1. Short term toxicity:

In environmental toxicology researches the aquatic plants of Lemnaceae are often used as a model because of their small size, simple structure, rapid growth, and high sensitivity to pollutants, and for these reasons they are very suitable for toxicity tests (OECD, 2002). One of the most important protocols for the

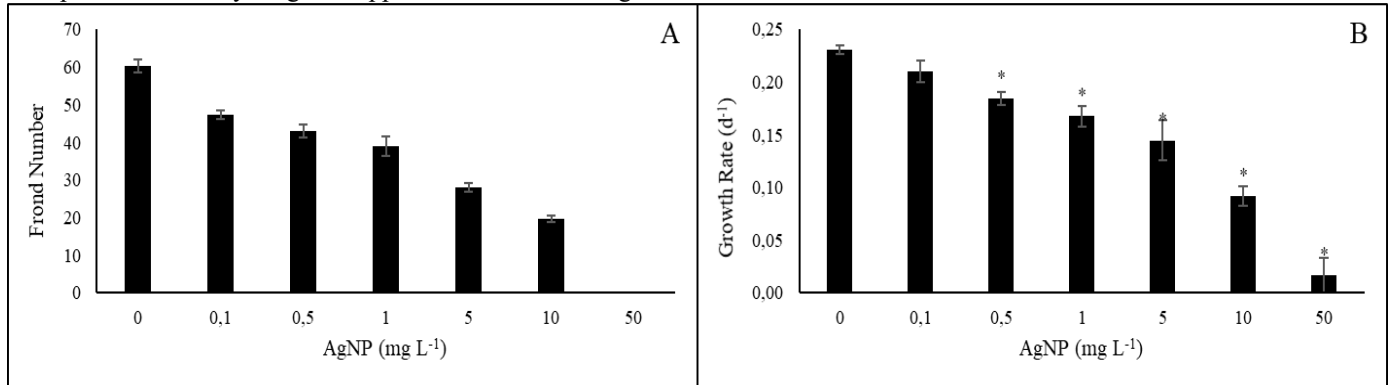
e-ISSN: 2148-2683

assessment of phytotoxicity is the standardized, 1 or 2-week *Lemna sp.* growth inhibition test (OECD, 2006). Using this protocol, to quantify the effects of AgNP added to the growth medium, the biomass, growth and inhibition rate were measured after 7d exposure.

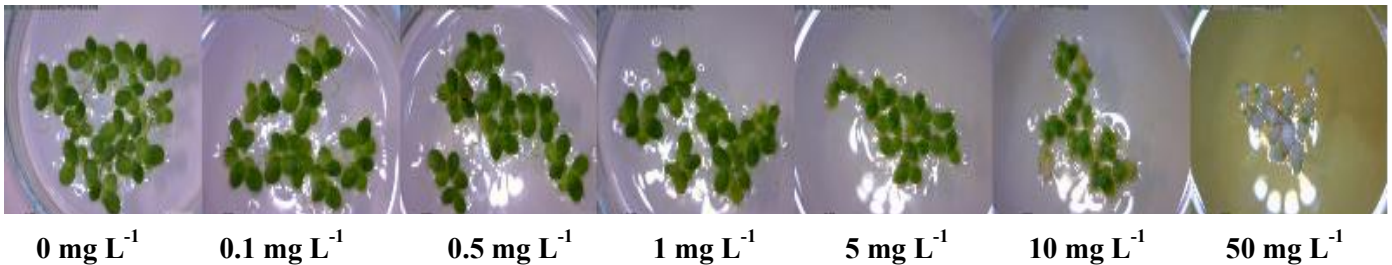
Short term toxicity of AgNP on *L. minor* assessed in high concentrations (0.1, 0.5, 1, 5, 10, 50 mg L<sup>-1</sup>) with 7-days exposure

time. In phytotoxicity tests, the frond number is used as an important parameter for determining growth rate and growth inhibition. The growth rate data of the test groups were produced by comparing the number of fronds at the beginning and end of the experiment. 7-day AgNP application at the highest

concentration (50 mg L<sup>-1</sup>) has caused a decrease by 92.8% in growth rate (Figure 2a and b). Additionally, the amount of silver for EC<sub>50</sub> was found to be as 0.033x10<sup>-5</sup> mg mL<sup>-1</sup>. These results shows that the Ag ion release into the growth media was very low.



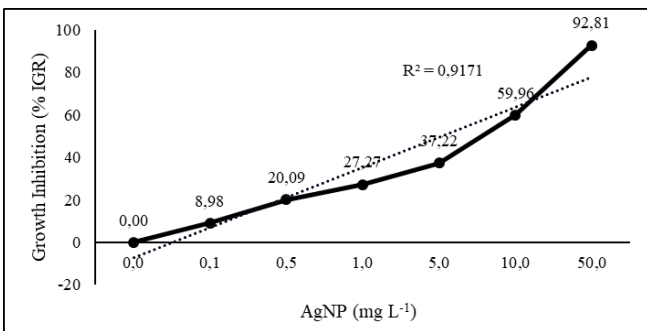
**Figure 2.** Frond number (a) and growth rate (b) of *L. minor* plants after the treatment with AgNP for 7 days. \*Statistically different at P < 0.05 according to LSD test



**Figure 3.** Images of *L. minor* plants after 7-days with high concentrations of AgNP.

The growth inhibition rate data of this experiment were used to define environmental effects of AgNP by calculation of Toxicological Concentration Descriptors like LOEC, NOEC and EC<sub>50</sub>. The lowest observed effect concentration (LOEC) of AgNP was found as 0.5 mg L<sup>-1</sup>, while no observed effect concentration (NOEC) was determined as 0.1 mg L<sup>-1</sup>. The median effective concentration (EC<sub>50</sub>) of AgNP was calculated as 4.78 mg L<sup>-1</sup> for 7-days (R<sup>2</sup> = 0.9171) (Fig. 4).

In some of the similar studies, *Lemna sp.* plants were subjected to chemically synthesized AgNPs, EC<sub>50</sub> was found as 0.026 mg L<sup>-1</sup> (Üçüncü et al., 2014), 0.12 mg L<sup>-1</sup> and 0.14 mg L<sup>-1</sup> (Gubbins et al., 2011). In the study of Mylona et al., (2020) LOEC and NOEC of chemically synthesized AgNP for *Halophila stipulacea* plants were estimated. The LOEC value was found as 0.2 mg L<sup>-1</sup> where the NOEC was 0.02 mg L<sup>-1</sup> (Mylona et al., 2020). Also in the study of Khosravi-Katuli et al., (2018), LC<sub>50</sub> of chemically synthesized AgNPs was found as 0.29 mg L<sup>-1</sup> for *Cyprinus carpio* (Common carp). Compared to previous studies our results presented higher NOEC, LOEC and EC<sub>50</sub> values which pointed that phyto-synthesis of AgNPs may lead less environmental toxicity. Different levels of AgNP toxicity can be observed for the different suspensions of AgNPs, due to variations in the quantity of toxic Ag<sup>+</sup> ions released into the aqueous test medium (Dewez et al., 2018) and the different synthesis methods or types/forms of AgNPs used.



**Figure 4.** Growth inhibition rate of *L. minor* plants after the treatment with AgNP for 7 days.

The studies with *Lemna gibba* (Oukarroum et al., 2013), *Lemna paucicostata* (Kim et al., 2011), and *L. minor* (Gubbins et al., 2011) showed that growth of these plants was affected after being exposure to AgNPs depending on nanoparticle structure, synthesis method and concentrations. Parallel to previous studies, our data showed that biologically synthesized AgNP also had inhibited the growth of *L. minor* with increasing concentration.

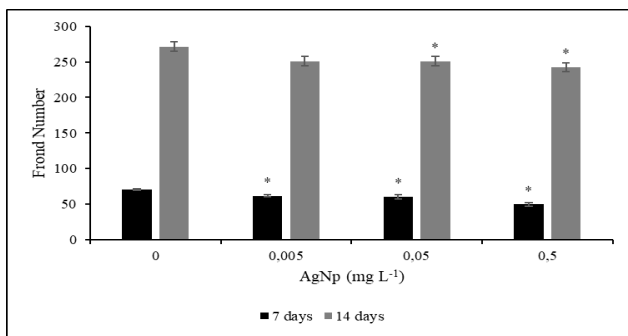
After the initial determination of LOEC, *L. minor* plants were subjected to lower concentrations (0, 0.005, 0.05, 0.5 mg L<sup>-1</sup>) of AgNPs than LOEC for 7- and 14-days. Time dependent toxicological effects of AgNP in low concentrations were assessed by vegetative growth data, fresh-dry weight and chlorophyll content.

#### Frond number

Fronds were counted to determine growth rate and inhibition of *L. minor* individuals exposed to low doses of AgNP at the end of 7- and 14-days trial periods. AgNP concentrations from 0.05, to 0.5 mg L<sup>-1</sup> caused significant decrease in the number of fronds 14 and 30%, respectively, compared to the control. However, the

prolonged exposure time (14-days) decreased AgNP impact on frond number by resulting lower decrement rate by 7.6% and 10.9% for 0.05 and 0.5 mg L<sup>-1</sup>, respectively.

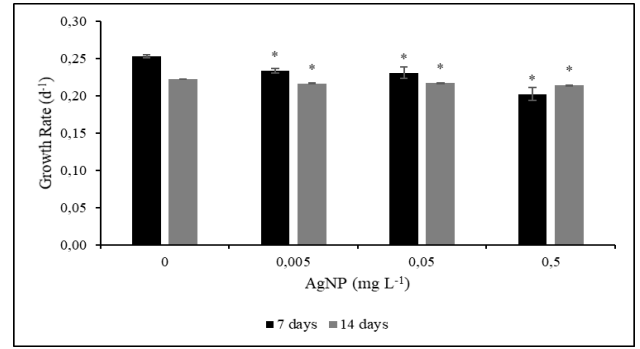
In a previous study, AgNPs were chemically synthesised, characterised and subsequently presented to the *L. minor*. Results showed that inhibition of plant growth was evident after exposure to small (~20 nm) and larger (~100 nm) AgNPs at low concentrations (0.005 mg L<sup>-1</sup>) and this effect became more acute with a longer exposure time (Gubbins et al., 2011). Frond number data indicated that the toxicity of both NPs increased with time, so greater inhibition of growth was observed after 14d exposure than after 7d (Gubbins et al., 2011). The results we obtained from our study showed this was not the case for phyto-synthesized AgNPs. *L. minor* plants were affected negatively after 7d of exposure, but these adverse effects reduced for the 14d treated plants. Especially, in the lowest concentration of AgNP did not cause any significant decrease in frond number after 14d of exposure.



**Figure 5.** Frond number of *L. minor* plants after the treatment with AgNP for 7 and 14 days. \*Statistically different at P < 0.05 according to LSD test

#### Growth Rate

The growth rate of plants was inhibited by 20.07% after 7 days of exposure while it was found 4.03% for 14-days treatment at the highest AgNP concentration (0.5 mg L<sup>-1</sup>) compared to the control group.

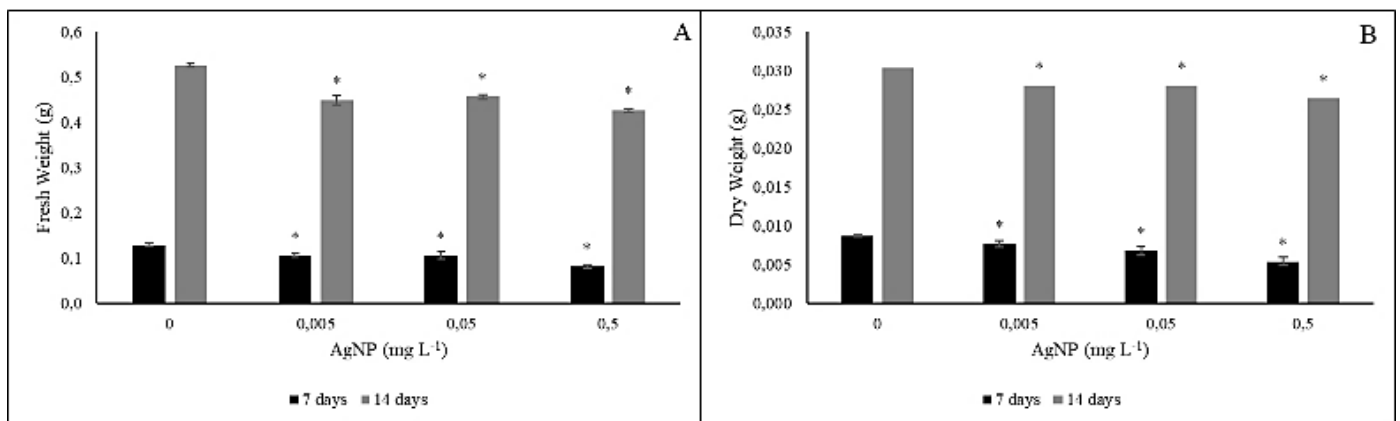


**Figure 6.** Growth rate of *L. minor* plants after the treatment with AgNP for 7 and 14 days. \*Statistically different at P < 0.05 according to LSD test

The reduced growth rate of plants agrees with the findings of previous studies in *Elodea canadensis* (Van Koetsem et al., 2016), *L. gibba* (Oukarroum et al., 2013), *L. minor* (Gubbins et al., 2011; Ucuncu et al., 2014) and *Spirodela polyrhiza* (Jiang et al., 2012). In correlation with previous studies, a reduction in the growth rate was observed in our study for both 7 and 14d of treatment to AgNPs. However, the reduction of the growth rate presented a difference for the exposure times, 14d of exposure having a reduced inhibition compared to 7d of exposure which might be the result of an acclimation mechanism of *L. minor* plants to AgNPs.

#### Fresh-Dry Weight

To observe the effect of 7 and 14 days AgNP application on plant biomass, the fresh and dry weights of the plants were measured. Treatment with 0.005 mg L<sup>-1</sup> AgNP resulted in a slight reduction in fresh and dry weight of plants while the reduction rate of both parameters was found as 37% and 38%, respectively compared to the control plants after 7-days of exposure to the highest concentration of AgNP (0.5 mg L<sup>-1</sup>). In a similar trend 14-days of exposure to AgNP led to a decrease in the plant biomass. The reduction rate of fresh and dry biomass reached to 9.14% and 12.85%, respectively at highest concentration of AgNP (0.5 mg L<sup>-1</sup>).



**Figure 7.** Fresh (a) and Dry (b) weight measurements of *L. minor* plants after the treatment with AgNP for 7 and 14 days. \*Statistically different at P < 0.05 according to LSD test

Fresh-dry weight data are important parameters which provide information about whether biosynthesis processes are affected in plants. It has been shown that exposure to AgNP can reduce biomass and leaf area in *Spirodela polyrhiza* (Jiang et al., 2012). Same study reported that AgNPs significantly reduce plant biomass, inhibit shoot growth and lead to root loss. Kaveh et al. (2013) pointed that exposure of AgNPs to high concentrations (5-20 mg L<sup>-1</sup>) resulted in a reduction in biomass in *Arabidopsis*. It was suggested that reduction in plant biomass could also be related to the water and mineral uptake required for biosynthesis reactions cannot occur due to the blockage of the apoplastic pathway by AgNPs (Kaveh et al., 2013).

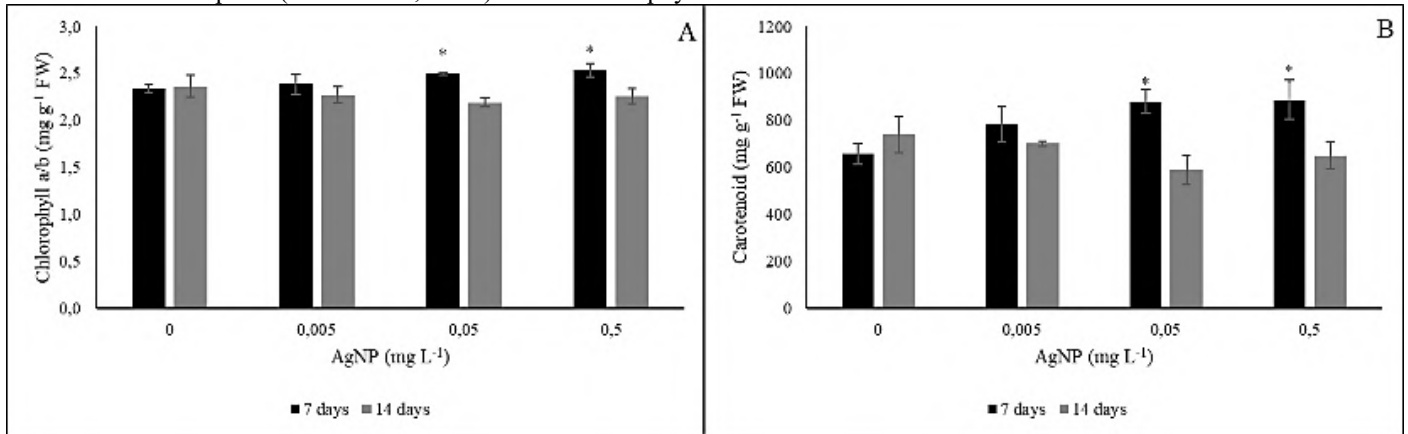
### Chlorophylls and Total Carotenoids Content

Recently, the chlorophyll contents of plants exposed to test solutions have taken their place among the parameters controlled in toxicity tests according to OECD guides (OECD 221, 2006). The photosynthetic pigments and chlorophyll a/b ratio can be used as indicator of stress as well as of a plant's photosynthetic capacity (Qian et al., 2013).

AgNP in 0.05 mg L<sup>-1</sup> concentration did not cause any change in chlorophyll a/b ratio while the higher concentrations led to a significant increase for 7-days of treatment. Differing from 7-days exposure to AgNP, in the prolonged exposure time, chlorophyll a/b content was maintained for all the AgNP concentrations. 7-days of exposure to 0.05 and 0.5 mg L<sup>-1</sup> of AgNP concentrations led to an increase in total carotenoid content by 34% and 35%, respectively, compared to the control group while no significant changes observed in total carotenoid content of the plants which were exposed to any concentrations of AgNP for 14-days.

Effects on growth reflect changes in the biochemical metabolism of the plant (Lalau et al., 2020). Since chlorophyll

content is a significant biomarker that reflects the status of plant growth, the results may indicate AgNP effects on the photosynthetic metabolism. Chlorophyll a oxidation by stress factor was reversed in higher concentrations of AgNP in 7-days could be related with carotenoid content increment in the same concentrations. Carotenoids play a role in the protection of chlorophyll; they also act as antioxidants to scavenge free radicals and reduce the damage to the cell membrane and DNA by removing free radicals. (He et al., 2011, Chew and Park, 2004). Mirzajani et al. (2013) reported that a significant increase in carotenoid content in rice sprouts exposed to AgNP and suggested that plants use carotenoids to reduce the effects of ROS caused by AgNPs. While the chlorophyll a/b ratio and the amount of carotenoid increased in 7-days of AgNP application compared to the control group, the absence of a significant difference in 14 days can be explained as acclimation of *L. minor* plants to AgNP. This situation can be related to the fact that *L. minor* plant is a bioaccumulator plant with high capacity and thus it has developed a tolerance mechanism.



**Figure 8.** Chlorophyll a/b (a) and carotenoids content (b) of *L. minor* plants after the treatment with AgNP for 7 and 14 days. \*Statistically different at  $P < 0.05$  according to LSD test

## 4. Conclusions and Recommendations

Spherically shaped and 34 nm AgNPs which were phyto-synthesized by using *Laurus nobilis* showed lower toxicity on aquatic plant *L. minor* than chemically synthesized AgNPs based on low EC<sub>50</sub> value. The result indicates that phyto-synthesized AgNP usage over chemically synthesized counterparts in proper fields may decrease potential AgNP toxicity risk for aquatic environment.

## 5. Acknowledge

This work was supported by Ege University Scientific Research Projects Coordination Unit. Project Number: FYL-2018-20032.

## References

- Ahmad, A., Wei, Y., Syed, F., Tahir, K., Rehman, A. U., Khan, A., Yuan, Q. (2017). The effects of bacteria-nanoparticles interface on the antibacterial activity of green synthesized silver nanoparticles. *Microbial Pathogenesis*, 102, 133–142. <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2016.11.030>.
- Arnon, D. I., 1949. Copper enzyme polyphenoloxides in isolated chloroplast in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology*, 24, 1-15.
- Argast, A. & Tennis III, C. F. (2004). A web resource for the study *e-ISSN: 2148-2683*

of alkali feldspars and perthitic textures using light microscopy, scanning electron microscopy and energy dispersive X-ray spectroscopy. *Journal of Geoscience Education*, 52(3), 213-217.

- Arshadi, E., Sedaghat, S. & Moradi, O. (2018). Green synthesis and characterization of silver nanoparticles using fructose. *Asian Journal of Green Chemistry*, 2(1), 41-50.
- Ayisigi, M., Cokislerel, A., Kucukcobanoglu, Y., Yalcin, T., & Aktas, L. Y. (2020). Green synthesized silver nanoparticles for an effective control on soft rot disease pathogen *Pectobacterium carotovorum* and growth stimulation in pepper. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 26, 574-584.
- Brain, RA., & Solomon, KR. (2007). A protocol for conducting 7-day daily renewal tests with *Lemna gibba*. *Nature Protocols* 2, 4.
- Bundschuh, M., Filser, J., Lüderwald, S., McKee, M. S., Metreveli, G., Schaumann, G. E., ... Wagner, S. (2018). Nanoparticles in the environment: where do we come from, where do we go to? *Environmental Sciences Europe*, 30(1). <https://doi.org/10.1186/s12302-018-0132-6>
- Chew BP. and Park JS., (2004). Functions and Actions of Retinoids and Carotenoids: Building on the Vision of James Allen Olson: Foreword. *Journal of Nutrition*, 134(1), 257–261.
- Chowdhury, N. R., MacGregor-Ramiasa, M., Zilm, P., Majewski,

- P. & Vasilev, K. (2016). 'Chocolate' silver nanoparticles: Synthesis, antibacterial activity and cytotoxicity. *Journal of Colloid and Interface Science*, 482, 151-158.
- Costa, D., Valente, A. J., Queiroz, J. A. & Sousa, Â. (2018). Finding the ideal polyethylenimine-plasmid DNA system for co-delivery of payloads in cancer therapy. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 170, 627-636.
- Dewez, D., Goltsev, V., Kalaji, H.M., Oukarroum, A., 2018. Inhibitory effects of silver nano- particles on photosystem II performance in *Lemna gibba* probed by chlorophyll fluorescence. *Curr. Plant Biol.* 16, 15–21. <https://doi.org/10.1016/j.cpb.2018.11.006>.
- Edison, T. J. I. & Sethuraman, M. G. (2012). Instant green synthesis of silver nanoparticles using *Terminalia chebula* fruit extract and evaluation of their catalytic activity on reduction of methylene blue. *Process Biochemistry*, 47(9), 1351-1357.
- Gubbins, E.J., Batty, L.C., Lead, J.R., 2011. Phytotoxicity of silver nanoparticles to *Lemna minor* L. *Environ. Pollut.* 159, 1551–1559. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.03.002>
- He, D.; Jones, A.M.; Garg, S.; Pham, A.N.; Waite, T.D. 2011. Silver nanoparticle–reactive oxygen species interactions: Application of a charging-discharging model. *J. Phys. Chem. C* 115, 5461–5468
- Huo, Y., Wang, M., Wei, Y., Xia, Z., 2016. Overexpression of the maize *psbA* gene enhances drought tolerance through regulating antioxidant system, photosynthetic capability, and stress defense gene expression in tobacco. *Front. Plant Sci.* 6, 1223.
- Jiang, J., Oberdörster, G., Biswas, P., 2009. Characterization of size, surface charge, and agglomeration state of nanoparticles dispersions for toxicological studies. *Journal of Nanoparticle Research* 11, 77-89.
- Jiang, H.-S.; Li, M.; Chang, F.-Y.; Li, W.; Yin, L.-Y. 2012. Physiological analysis of silver nanoparticles and AgNO<sub>3</sub> toxicity to *Spirodela polyrrhiza*. *Environ. Toxicol. Chem.* 31, 1880–1886.
- Jyoti, K., Baunthiyal, M., & Singh, A. (2016). Characterization of silver nanoparticles synthesized using *Urtica dioica* Linn. leaves and their synergistic effects with antibiotics. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, 9(3), 217–227. <https://doi.org/10.1016/j.jrras.2015.10.002>
- Kaveh, R., Li, Y.S., Ranjbar, S., Tehrani, R., Brueck, C.L., Van Aken, B., 2013. Changes in *Arabidopsis thaliana* gene expression in response to silver nanoparticles and silver ions. *Environ. Sci. Technol.* 47 (18), 10637–10644.
- Khoshnamvand, M., Ashtiani, S., Chen, Y., & Liu, J. (2020). Impacts of organic matter on the toxicity of biosynthesized silver nanoparticles to green microalgae *Chlorella vulgaris*. *Environmental Research*, 185, 109433. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109433>
- Khosravi-Katuli, K., Shabani, A., Paknejad, H., & Imanpoor, M. R. (2018). Comparative toxicity of silver nanoparticle and ionic silver in juvenile common carp (*Cyprinus carpio*): Accumulation, physiology and histopathology. *Journal of Hazardous Materials*, 359(July), 373–381. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2018.07.064>
- Kim, E., Kim, S. H., Kim, H. C., Lee, S. G., Lee, S. J., & Jeong, S. W. (2011). Growth inhibition of aquatic plant caused by silver and titanium oxide nanoparticles. *Toxicology and Environmental Health Sciences*, 3(1), 1–6. <https://doi.org/10.1007/s13530-011-0071-8>
- Lalau, C. M., Simioni, C., Vicentini, D. S., Ouriques, L. C., Mohedano, R. A., Puerari, R. C., & Matias, W. G. (2020). Toxicological effects of AgNPs on duckweed (*Landoltia punctata*). *Science of the Total Environment*, 710, 136318. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136318>
- Minogiannis, P., Valenti, M., Kati, V., Kalantzi, O., Biskos, G., 2019. Toxicity of pure silver nanoparticles produced by spark ablation on the aquatic plant *Lemna minor*. *J. Aerosol Sci.* 128, 17–21. <https://doi.org/10.1016/j.jaerosci.2018.11.003>.
- Mirzajani F, Askari H, Hamzelou S, Farzaneh M, Ghassempour A. 2013. Effect of silver nanoparticles on *Oryza sativa* L. and its rhizosphere bacteria. *Ecotoxicol Environ Saf.* 88:48–54
- Mylona, Z., Panteris, E., Kevrekidis, T., & Malea, P. (2020). Silver nanoparticle toxicity effect on the seagrass *Halophila stipulacea*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 189(November 2019), 109925. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.109925>
- Newton, K.M., Puppala, H.L., Kitchens, C.L., Colvin, V.L., Klaine, S.J., 2013. Silver nanoparticle toxicity to *Daphnia magna* is a function of dissolved silver concentration. *Environ. Toxicol. Chem.* 32, 2356–2364.
- OECD, 2002. Guidelines for the testing of chemicals: revised proposal for a new guideline 221—*Lemna* sp. Growth Inhibition Test.
- OECD Guidelines for the testing of Chemicals 221. 2006. *Lemna* sp. Growth Inhibition Test.
- Oukarroum, A., Barhoumi, L., 2013. Silver nanoparticle toxicity effect on growth and cellular viability of the aquatic plant *Lemna gibba*. *Environ. Toxicol. Chem* 32, 902–907. <https://doi.org/10.1002/etc.2131>.
- Qian, H., Peng, X., Han, X., Ren, J., Sun, L. & Fu, Z. (2013). Comparison of the toxicity of silver nanoparticles and silver ions on the growth of terrestrial plant model *Arabidopsis thaliana*. *Journal of Environmental Sciences*, 25(9), 1947–1956.
- Quadros, M. E., & Marr, L. C. (2011). Silver nanoparticles and total aerosols emitted by nanotechnology-related consumer spray products. *Environmental Science and Technology*, 45(24), 10713–10719. <https://doi.org/10.1021/es202770m>
- Van Koetsem, F., Xiao, Y., Luo, Z., & Du Laing, G. (2016). Impact of water composition on association of Ag and CeO<sub>2</sub> nanoparticles with aquatic macrophyte *Elodea canadensis*. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(6), 5277–5287. <https://doi.org/10.1007/s11356-015-5708-8>
- Vance, M. E., Kuiken, T., Vejerano, E. P., McGinnis, S. P., Hochella, M. F., & Hull, D. R. (2015). Nanotechnology in the real world: Redeveloping the nanomaterial consumer products inventory. *Beilstein Journal of Nanotechnology*, 6(1), 1769–1780. <https://doi.org/10.3762/bjnano.6.181>
- Reinfelder, J.R., Chang, S.I., 1999. Speciation and microalgal bioavailability of inorganic silver. *Environmental Science and Technology* 33, 1860-1863
- Salama HMH. 2012. Effects of silver nanoparticles in some crop plants, common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and corn (*Zea mays* L.). *Int Res J Biotech.* 3:190–197.
- Üçüncü, E., Özkan, A.D., Kurs, C., Ülger, Z.E., Ölmez, T.T., 2014. Chemosphere Effects of Laser Ablated Silver Nanoparticles on *Lemna minor* 108., pp. 251–257. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.01.049>.





# QCM Temelli Homosistein Nanobiyosensörünün Gerçek Zamanlı Tayin Sisteminde Optimizasyonu

Fatma Ayhan\*

Muğla Sıtkı Koçman University, Faculty of Science, Department of Chemistry, Biochemistry Division, Biochemistry&Biomaterials Research Group (BIOMATREG),  
Muğla, Turkey (ORCID: 0000-0003-2220-4496), [fayhan@mu.edu.tr](mailto:fayhan@mu.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 19 Ağustos 2021 ve Kabul Tarihi 28 Kasım 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.983841)

**ATIF/REFERENCE:** Ayhan, F., (2021). Homosistein Nanobiyosensörünün Geliştirilmesi ve Sürekli Akış Sisteminde Kullanımının Optimizasyonu, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (27), 1095-1104.

## Öz

Metiyonin amino asitinden türeyen bir amino asit olan homosistein, damar hastalıkları için önemli bir risk faktörü olduğundan hızlı ve ucuz bir yöntemle tayini son yıllarda üzerinde çalışılan ve gittikçe artan öneme sahip bir araştırma konusudur. Sunulan bu araştırma kapsamında, Kuartz Kristal mikrobaleans (QCM) yöntemi kullanılarak homosisteinin gerçek zamanlı tayini yapılmıştır. QCM tekniği özellikle nano düzeylerde bazı maddelerin varlığının nicel ve/veya nitel olarak tespitinde kullanılmaktadır. Kristalin elektrodunun yüzeyine özgül olarak immobilize edilen tanıyıcı maddenin hedef maddeyi yakaladığı mikrogravimetrik tayin prensibine dayanmaktadır. Yapılan çalışmada, kuartz kristal mikroterazi (QCM) tekniği ile homosisteinin sıvı ortamda ve sürekli akış sisteminde gerçek zamanlı bir yöntemle tayini mevcut yöntemlere göre daha hızlı olarak gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla çalışmanın ilk aşamasında altın (Au) elektrotlu kristal yüzeylerinin modifikasyonu gerçekleştirilmiştir. Yüzey yıkama ve aktivasyon işleminden sonra yüzeye sisteamin ve daha bifonksiyonel bir yapıda olan glutaraldehid (GA) bağlanması gerçekleştirilmiştir. GA bağlanmış yüzeylere homosisteini özgül olarak tanıyan biyolojik ligand Bovin Serum Albumin (BSA) immobilize edilmiştir. En uygun BSA derişimi olarak 0,1 mg/ml seçilmiştir. Bu BSA yüzey derişimi ile yapılan homosistein bağlanma deneyleri ile 0,01-0,5 µM aralığında homosistein kalibrasyonu gerçekleştirilmiş ve en düşük tayin edilebilir değer olarak 0,01 µM yani 10 nM düzeyinde homosistein değeri belirlenmiştir. Böylece bu önerilen sistemle nanodüzye homosistein tayini yapılabilmektedir. Çalışmanın ikinci aşamasında gerçek zamanlı (real-time) homosistein ölçümleri ile yöntemin verimliliği, tekrarlanabilirliği ve tayin edilebilecek en düşük homosistein değerinin tespit edilmesi sağlanmıştır. Sonuçta damar hastalıklarının önemli bir belirteci olan homosisteinin tayininde geliştirilen sistemin yeni bir yöntem olarak kullanım potansiyeli olduğu düşünülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Kuartz kristal mikroterazi (QCM), Homosistein, Yüzey modifikasyonu, Gerçek zamanlı tayin, Optimizasyon.

## Optimization of QCM-Based Homocysteine Nanobiosensor in Real-Time Detection System

### Abstract

Homocysteine, which is a methionine amino acid derived amino acid is an important risk factor for vascular diseases so, its dedection by a rapid and cheap method is under investigation and is an research theme with gradually increasing importance. In the scope of the presented study, the real time detection of homocysteine by using Quartz Crystal Microbalance (QCM) method was performed. QCM technique is used for quantitative and/or qualitative determination of some materials especially which are present in nanoscale levels. The analysis lies on the microgravimetric analysis where the specific compound attached to the surface of crystal capture the target compound. The detection of homocysteine with QCM technique in liquid and continuous flow system was achieved in a real time method faster than other available methods. For the purpose, the modification of gold (Au) crystal surfaces was performed in the first part of the study. Cystamine was immobilized after surface washing and activation process and then binding of bifunctional glutaraldehyde (GA) was achieved. Homocysteine specific recognizing biological ligand Bovine Serum Albumin (BSA) was immobilized to glutaraldehyde coupled surfaces. The most convinient BSA concentration was selected as 0,1 mg/ml. and homocysteine coupling values was determined and the calibration of homocystein was achieved. Homocysteine calibration curve was realized by homocysteine coupling experiments with this BSA surface concentration and the minimum detection limit was found as 0,01 µM which coincide to 10 nM homocysteine value. Hence, homocysteine was detected in nano level in the proposed system. In the second part of the research, productivity, reproducibility, and minimum detection limit of the method was determined by the experiments of real-time detection of homocystein. Thus, it is thought that the system developed for the determination of homocysteine, which is an important marker of vascular diseases, has the potential to be used as a new method.

**Keywords:** Quartz crystal microbalance (QCM), Homocysteine, Surface modification, Real-time detection, Optimization.

\* Sorumlu Yazar: [fayhan@mu.edu.tr](mailto:fayhan@mu.edu.tr)

## 1. Giriş

Nanoteknoloji, Bilim ve Teknolojideki yeni hedeflerin en önemlilerinden biridir. Nanoteknoloji, boyutları 100 nm ve daha küçük olan yapıların oluşturulması ve bu şekilde özellikleri önemli derecede değişebilen çeşitli materyallerin sentezlenmesini sağlar (Tüylek, 2021). Bu materyaller ile değişik uygulamalar için daha üstün özelliklere sahip polimerik nanokompozitler veya dendrimeric biyosensör gibi uygulamalarda kullanımı tasarlanabilir (Matthews, 1998; Horst, 2020; Shende, 2020).

Homosistein, kükürt içeren ve metiyonin esas amino asitten türeyen bir amino asittir. Genetik ile diyetetik faktörler ve B kompleks vitaminleri (folat, B12, B6 gibi) Homosisteinin plazma düzeylerini kontrol ederler. Vitamin eksikliği hiper homosisteinemia'ya yol açan ana unsurdur ve düzensiz vitamin alımı, gastrointestinal sistemdeki absorpsiyon azalması, B6 ve B12 vitaminlerine ve folik asite ihtiyacın artması and ilaç etkileşimleri gibi nedenlerle de ortaya çıkabilir. Yüksek plazma homosistein değerleri (>12 µmol/L) sitotoksik olarak düşünülmektedir ve genel nüfusun yüzde 5-10'unda ve damar bozukluğu olan hastaların % 40'ında rastlanmaktadır. Son yıllarda, homosisteinin serebral, koroner ve periferik damarları etkileyen aterosklerotik damar hastalıklarının bağımsız bir risk faktörü olduğu gösterilmiştir. Varılan ortak görüş odur ki; damar bozukluğu olanlar, kalp-damar bozukluğu riski taşıyanlar, vitamin eksikliği olanlar ve 50 yaşın üzerindekiilerin homosistein değerlerinin bilinmesi gerekmektedir.

Serum/plazmada var olan toplam homosistein tayini için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bunların başlıca ve en çok kullanılan yöntemlerden biri yüksek basınçlı sıvı kromatografisi (HPLC) metodudur (Vester, 1991). Floresan ajanın kullanıldığı yöntemde floresan dedektörlü HPLC sistemine ihtiyaç vardır ve floresan parçalanma ürünleri, gradient ayırmaya ihtiyaç duyulması, yüksek sıcaklıkta türevlendirme ve fluorojenik ajan olan 7-fluorobenzo-2-okza-1,3-diazol-4-sulfonat (SBD)'ın ışığa hassaslığı, zaman ve tecrübeli eleman gerektirmesi gibi zorluk ve dezavantajları vardır. Elektrokimyasal ve kütle dedektörlü HPLC

sistemlerinde de dedektör kararlılığı ve pahalı olmaları gibi dezavantajlarla karşılaşmaktadır. Geliştirilen immunoassay metodlarda ise karşılaşılan en büyük sorun reaktiflerin pahalı olmasıdır (Imai, 1987; Ubbink, 2000). Serum/plazma toplam homosistein tayini için geliştirilen bir otoanalizör, kemilüminesan enzim immünoassay yöntemini kullanmaktadır (Frantzen, 1998). Yöntemde enzimle muamele ve mikropalakaların muamelesi olmak üzere iki aşamadan oluşmaktadır. Altın nanopartikül/camsı karbon elektrodun yüzeyine Homosistein bağlayan aptamer aşılansarak aptasensör oluşturulmuş ve elektrokimyasal olarak diferansiyel puls voltametrisinde homosistein sinyalleri alındığı rapor edilmiştir (Beitollahi, 2020). Anti-Homosistein antikorunun gümüş kristal yüzeyine immobilizasyonu ve QCM-temelli analiz ile homosisteinin tayin edilmiştir (Ayhan, 2020).

Serumdaki (plazma) homosisteinin önemli bir bölümü plazma proteinleri ile ağırlıklı olarak da albümin ile disülfid bağları aracılığı ile birleşmiş olarak bulunmaktadır. Bu oran sağlıklı insan serumundaki (plazma) toplam homosisteinin ~70'ini oluşturmaktadır (Ueland, 1993). Kandaki homosisteinin tayinin doğru yapılabilmesi için indirgeyici ajan varlığında disülfid bağlarının kırılması ile proteine bağlı homosisteinin açığa çıkarılması gerekmektedir (Refsum, 1989; Krijt, 2001).

Toplam homosisteine (tHcy) serbest ve proteine bağlı olmak üzere plazma/serumdaki tüm homosistein türlerinin toplamı olarak tanımlanmaktadır. Serum/plazmadaki toplam Hcy kobalamin veya folat eksikliği olan hastalarda önemli ölçüde artmaktadır ve sadece eksik vitamin ile takviye edildiğinde azalmaktadır. Bu nedenle toplam homosistein teşhis ve eksikliklerin takibi için gerekli olan bir değerdir ve geleneksel laboratuvar analizlerinin zayıflığını gidermede kullanılabilir. Ayrıca toplam homosistein erken kalp-damar bozuklukları için tehlike oluşturacak bağımsız bir etkidir. Bu bozukluklar sıradan hastane kimya laboratuvarında toplam homosistein tayinini gerekli kılmaktadır (Ueland, 1993). Şiddetli homosistinuriya erken kalp-damar bozukluklarına yol açmakta fakat az ve orta homosistinuriya veya homosistinemiyanın hasta sonuçları kesin olarak belirlenmemiştir. Şiddetli homosistinuriyaya neden olan en büyük sebep transülfürasyon yolunda sistatyonin β-sintazın doğuştan olmaması veya tam etki göstermemesidir. Beslenme eksikliği veya düşük vitamin absorpsiyonu nedeni ile dokudaki kobalamin (Cbl) ve folat eksikliği de homosistinemiya neden olabilir. Homosistein Cbl-bağlı metiyonin sintaz (hayvan dokularında yaygındır) ve hepatik betain: homosistein S-metiltransferaz ile metiyonine dönüştürülür (Jacobsen, 1989). Ayrıca böbrek yetmezliği, doğuştan bozukluk, psikiyatrik bozukluklar ve hamilelikte yaşanan zorlukların idaresinde homosistein ölçümleri önerilmiştir (Kellogg, 2005).

Günümüzde homosistein tayini analitik olarak çoğunlukla floresans, elektrokimyasal ve kütle dedektörlü yüksek basınçlı sıvı kromatografisi, immünolojik teknikler gibi yöntemlerle gerçekleştirilmektedir. Bahsedilen yöntemler gerek ön işlem gerektirmeleri gerekse işlemlerin zahmetli olması, eğitilmiş elemana ihtiyaç duyulması ve cihazların pahalı olması gibi nedenlerle uygulamada zorluklarla karşılaşmaktadır. Son yıllarda gelişen nano boyut teknolojisi sayesinde polimerik ve anorganik malzemeler önem kazanmıştır. Bu bağlamda altın veya gümüş elektrotlu piezo kristallerin rezonans frekansından faydalanarak nano düzeyde nitel ve nicel analizler yapılabilir.

$$\Delta f = - 2.26 \times 10^6 f^2 \Delta m / A$$

Kristal üzerine ilave edilen kütle ( $\Delta m$ ), kristalin salınım frekansında kaymaya neden olur ( $\Delta f$ ), ki bu kayma ölçülebilirse kütle artışı yukarıdaki basit ifadeyle hesaplanabilir. Bu denklik ilk kez Sauerbrey tarafından türetilmiş olup onun adıyla anılmaktadır (Sauerbrey, 1959; Bunde, 1998). Burada ölçülen ağırlık değişimleri ng seviyelerinde olduğundan bu sistem biyosensör uygulamalarına oldukça yatkındır ve uzunca bir süredir bu amaçla kullanılmakta ve çalışmalar devam etmektedir. Piezoelektrik kristallerin rezonans frekansının ölçülmesi için ticari olarak mevcut salınım ölçerler kullanılır. Pratik olarak kullanılan sistemlerde iki salınım devresi yer alır. Her iki devreye de takılı olan kristal benzer özelliklerdedir. Ancak birinin (ölçüm kristali) sensör olarak kullanılmak üzere yüzey modifikasyonu yapılmış (ligand takılmış) diğerine (referans kristal) ise hiçbir işlem uygulanmamıştır. Bu ikinci devre sıcaklık ve nem etkilerini ve ölçülecek madde dışında ortamda bulunan diğer maddelerin kristal ile özgül olmayan etkileşimi sonunda ortaya çıkacak girişimlerini en aza indirmek amacıyla kullanılmaktadır.

Kuartz kristal mikrobalans (Quartz Crystal Microbalance, QCM) farklı biyosensör uygulamalarında kullanılan yüksek frekanslı yüzeydeki değişimlere hassas bir yöntemdir (Marx, 2003). Sensör yüzeylerine adsorbe olan tabakaların rezonans frekansındaki ( $\Delta f$ ) değişimlerin görüntülenmesi temeline

dayanmaktadır. Kuartz kristal mikrobalsan (QCM) yöntemi uygun modifikasyon ile birçok organofosfor ve karbamat pestisid tayininde (Karousos, 2002), antijen veya antikor tanımlanmasında (Liu, 2004), suni yüzeylerde kan pıhtılaşma yoğunluğu ve immün komplement aktivasyonunun (Andersson, 2005) tespiti çalışmalarında kullanılmıştır. Kristal modifikasyonunda kullanılan yöntemlerden bazıları sistamine-glutaraldehit yöntemi (Lee, 2005), fiziksel adsorpsiyon, iki tiyoamin ile tiyolleme metodu ki burada sisteamin ve sistamin altın üzerine kimyasal sorpsiyon amaçlı kullanılmıştır. İki oksitlenmiş dekstran uzatma kolunun kullanımı gibi yöntemlerle anti-Human Serum albumin (HSA) immobilize edip HSA tayininde kullanarak karşılaştıran çalışmalar mevcuttur (Liu, 2001). Kuartz kristal mikroterazi sisteminin sıvıda veya akış sisteminde farklı araştırma ve uygulamaları mevcuttur (Liu, 2003, a; Lee, 2005; Zhang, 2008; Ozalp, 2015; Bereli, 2020; Yılmaz, 2021).

Sürekli Sistemde ise Kuartz kristal mikroterazi sisteminin sıvıda veya akış sisteminde farklı araştırma ve uygulamaları mevcuttur. Çözeltide IgG ile histidin arasındaki ilişki kuartz kristal mikroterazi biyosensör ile gerçek zamanlı olarak tayin edilmiştir (Liu, 2003,a.). Çalışmada akış enjeksiyonlu çalışan bir sistemde yapılan yüzey modifikasyonları sonrasında kristal histidin çözeltisine daldırılmıştır ve IgG enjekte edilerek frekans değişimi incelenmiştir. Protein ve küçük moleküllu tıbbi kimyasallar arasındaki etkileşim kuartz kristal biyosensör ile gerçek zamanlı olarak gözlenmiştir (Tanaka, 2001; Liu, 2003,b). Sıvı ortamda bir viral hastalık olan BEF'nin virüsünün tespiti akış tipli kuartz kristal mikroterazi immünosensör ile araştırılmıştır (Lee, 2005). Heparin ve antitropin III arasındaki etkileşim kuartz kristal mikroterazi elektrod yüzeyi poli(glisidil metakrilat) film ile kaplandıktan sonra incelenmiştir (Zhang, 2004). Heparin immobilizasyonu sonrası antitrombin III etkileşimi akış enjeksiyonu sonrası frekans değişimi ile incelenmiştir. Yine aynı iki molekül arasındaki ilişki kristal yüzeyinde nanoaltın oluşumu in situ büyüme izlendikten sonra incelenmiştir (Zhang, 2008). *Vibrio parahaemolyticus*'un oligonükleotitlerinden tayini için QCM kristal yüzeyi plazma modifikasyonu ile hexametildisilazan kullanılarak modifiye edilmiştir (Chen, 2007). Böylece oluşturulan arayüzey ile altın nanopartiküllerin oligonükleotidlerle bağlanması sağlanmıştır. İnsan serum albumin (HSA) üzerine ilaçların bağlanma bölgelerini belirlemek amacı ile basit ve etkile bir yöntem geliştirilmiştir. Bilirubinün bağımsız olarak bağlanması veya yarışmalı yer değiştirmesinden yararlanılarak akış enjeksiyonlu analiz-kuartz kristal mikroterazi (FIA-QCM) kullanılmıştır. Bağımsız ve yarışmalı bağlanma gerçek zamanlı olarak görüntülenmiştir. Sonuçlar ilaç ve HSA arasındaki hareketli etkileşimi görüntülemek için FIA-QCM'in doğru bir yaklaşım olabileceğini göstermiştir. Üstelik işaretlemeye gerek olmadan ilaç bağlanma bölgelerini de gerçek zamanlı olarak belirlemek mümkün olabilecektir (Zhang, 2008). Son yıllarda yapılan başka bir çalışmada genetiği değiştirilmiş organizmaların (GMO) görüntülenmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla AcMV 35S promoter diziliminin hibridizasyonunun tayini için kütleyle hassas kuartz kristal mikroterazi (QCM)-temelli DNA biyoalgılayıcı geliştirilmiştir. Geliştirilen QCM temelli DNA algılayıcı GMO'nın görüntülenmesi için gerçek zamanlı, işaretleme yapmadan ve doğrudan tespiti için umut verici sonuçlar elde edilmiştir (Karamollaoğlu, 2009). Kuartz kristal mikroterazi ve elektrokimyasal impedans spektroskopisi yöntemleri birleştirilerek altın ve platin elektrodlar üzerine BSA adsorpsiyonu incelenmiş ve farklı pH değerlerinde elektrokimyasal ve yüzey yapılarının değiştiği tespit edilmiştir (Xie, 2003).

Bu araştırma kapsamında, sürekli sistem akış hücreli Kuartz Kristal mikrobalsan (QCM) yöntemi kullanılarak homosistein tayini gerçekleştirilmiştir. Proje kapsamında önerilen çalışmada altın piezo kristal elektrodları yüzeylerine yapılacak temizleme, modifikasyon ve biyolojik molekül immobilizasyonu sonrası sıvı akış ortamında ölçüm yapılarak klinik laboratuvar koşullarına daha uygun bir ortamda analiz imkânı elde edilmiştir. Çalışmada ilk aşamada quartz kristal yüzeylerinin modifikasyonu gerçekleştirilmiştir. Bu bağlamda altın (Au) elektrodlu piezo kristaller kullanılmıştır. Yüzey yıkama işleminden sonra yüzeye sisteamin immobilizasyonu, daha sonra sisteamin üzerine bifonksiyonel glutaraldehid (GA) bağlanması gerçekleştirilmiştir. GA bağlanmış yüzeylere homosistein ile disülfid bağları yapan bir molekül olan albümin (BSA) bağlanması sağlanarak kalibrasyon doğrusunun oluşturulmasından sonra yöntemin verimliliği ve tekrarlanabilirliği tespit edilmiştir. Ayrıca tayin edilebilecek en düşük homosistein değeri belirlenerek yöntemin kullanılacağı en düşük alt sınır değeri tespit edilmiştir. Böylece homosisteinin hızlı, daha ucuz ve ön işlemleri azaltılmış olarak aynı elektrodun tekrarlanarak kullanılmasına olanak verecek bir yöntemle tayini amaçlanmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

Araştırmada kullanılan kimyasal maddeler ticari kaynaklardan temin edilmiştir. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>: % 30 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, sisteamin, glutaraldehit, BSA, Homosistein, glisin Merck'ten satın alınmıştır. Diğer bütün kimyasal maddeler analitik saflıktadır. QCM200 Kuartz Kristal Mikroterazi sistemi ve 5 MHz AT kesimli 1" altın QCM çipler SRS®'den satın alınmıştır. Deneysel çalışmaların bütün aşamalarında Merck Millipore ultrapure (type 1) Direct-Q® 8 UV ile saflaştırılmış su kullanılmıştır.

### 2.1. Yüzey modifikasyon işlemleri

#### *Biyolojik molekül immobilizasyonu öncesi işlemler*

Çalışma kapsamında piezo kristal yüzeyine Homosistein tayini için tanıyıcı ligand kimyasal olarak tutuklanmıştır. Homosisteini tanıyacak biyolojik molekülün bağlanması öncesinde yapılan ön işlemler aşağıdaki gibi gerçekleştirilmiş ve Şekil 1'de şematik olarak verilmiştir (Ayhan, 2014).

#### 2.1.1. Yüzey temizliği

QCM'in altın elektrodun iki yüzeyine sıcak Piranha çözeltisi (derişik H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>: % 30 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, 3:1 v/v, 5µl) eklenmiş ve 5 dak beklendi. Distile su ile yıkanan kristal yüzeylerine aynı işlem tekrar uygulanmıştır. Tekrar distile su ile yıkanan yüzeyler etüvde 37°C'de yaklaşık 30 dakika kurutulmuş elektrodun frekans değeri okunmuş ve başlangıç frekansı olarak kayıt edilmiştir (Herne, 1997; Liu, 2004; Lee, 2005).

#### 2.1.2. Sisteamin Immobilizasyonu

Kuartz kristallerin yüzey temizleme aşamasından sonra kristal yüzeylerine Sisteamin (C<sub>2</sub>H<sub>7</sub>NS) bağlanması gerçekleştirilmiştir. Sisteamin molekülü bir tiyol (SH) ve birde amin (NH<sub>2</sub>) olmak üzere iki fonksiyonel uca sahip bifonksiyonel bir moleküldür. Yumuşak baz olan sisteamin molekülünün bu özelliğinden yararlanılarak tiyol ucundan, gene yumuşak asit olan Au kristal yüzeyinden tutturulmuş ve diğer amin ucu fonksiyonel olarak başka bağ için hazır tutulmuştur (Laibinis, 1991; Likogiani, 2006). Bu amaçla, 18 mM derişimde sisteamin, fosfat tamponunda (0,01 M pH=7) (Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>/NaH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>) çözülmüştür. Kristaller 30 dakika süreyle elde edilen çözelti içinde karanlık ortamda etkileştirilmiş ve süre sonunda deiyonize suyla 15 dakika

boyunca yıkanmıştır. Yıkama işleminden sonra kurutulularak frekans değerleri ölçülmüştür.

### 2.1.3. Glutaraldehit (GA) İmmobilizasyonu

Sisteamin bağlı kuartz kristallerin üzerine uzatma kolu (spacer arm) takılması amacıyla yine bifonksiyonel özelliğe sahip olan glutaraldehit ( $\text{COH}(\text{CH}_2)_3\text{COH}$ ) kullanılmıştır. Burada amaç sisteaminin serbest olan amin ucu ile glutaraldehitin aldehit uçlarının reaksiyona girmesi ve şift bazı reaksiyonu ile imin oluşumu ile bağlanmalarının sağlanmasıdır (Hou, 1991fl. Bunun için sisteamin bağlı kuartz kristaller 0,01 M sodyum tetraborat/HCl tamponu ile

pH: 8.2'de % 3 (h/h) glutaraldehit ile etkileştirilmiştir. Kristaller reaksiyon ortamında 30 dakika süreyle tutulmuş ve süre sonunda ultra saf su ile 15 dakika boyunca yıkanmıştır. Yıkama işleminden sonra kurutulularak frekans değerleri ölçülmüştür.

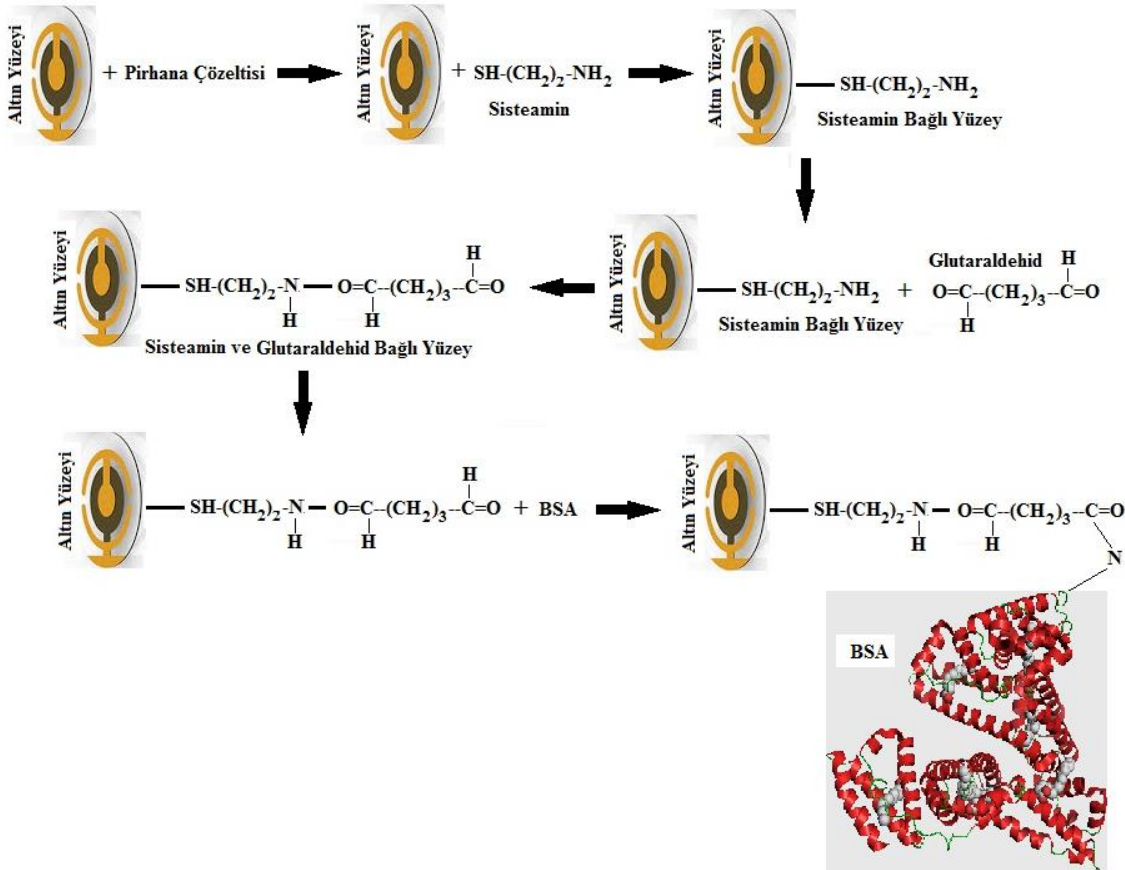
### 2.2. Bovine Serum Albumin İmmobilizasyonu

QCM sensor yüzeyinde oluşan tiyol ve aldehit oluşumu sağlandıktan sonra kristal oda sıcaklığında farklı derişimlerde BSA çözeltilerine (pH 5 fosfat tamponunda, (pI (BSA) 4.7)) daldırılarak 2 saat bekletilmiştir. BSA derişimi 0,1 mg/mL olacak şekilde ve önce PBS ile daha sonra da deiyonize su ile yıkanarak kurutulduktan sonra frekansı ölçülmüştür (Ayhan, 2014). Son aşamada açıkta kalan aktif bölgeleri kapatmak amacı ile QCM sensörü 30 dakika süre ile 100 mM glisin ile etkileştirilmiş ve önce PBS ile daha sonra da deiyonize su ile yıkanarak yine kurutulduktan sonra frekans ölçülmüştür.

### 2.3. Sürekli akış sisteminde Homosistein tayini

Araştırma kapsamında tanıyıcı ligand tutuklanması aşamasından sonra homosistein tayini çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Çalışma için homosistein 50  $\mu\text{mol/L}$  stok çözeltisi (pH 7.4, 0,01 M PBS) hazırlanarak deney aşamalarında bu çözeltiden seyreltmeler yapılarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Homosistein çözeltisi kullanılmadığı zaman  $+4^\circ\text{C}$ 'de bekletilmiş ve kullanım süresi bir hafta olacak şekilde çalışılmıştır. BSA immobilize edilmiş QCM sensör akış hücresine yerleştirildikten sonra 0.01 M PBS (pH 7.4) çözeltisini kullanarak 100  $\mu\text{L}/\text{dak}$  akış hızında sürekli sistemde belli derişimde homosistein içeren çözeltiden 100  $\mu\text{L}$  verilmiştir

Farklı derişimler için bağlanma eğrileri oluşturulmuştur. Her derişim için gözlenen frekans farkından yararlanılarak kalibrasyon doğrusu oluşturulmuştur. Hazırlanan farklı derişimler için de frekans farkları tespit edilmiştir. Gözlenen frekans farkı ile hazırlanan doğrudan yararlanarak derişim tespit edilmiştir. Böylece akış enjeksiyonlu sürekli sistemin verimliliği belirlenmiştir. Benzer şekilde belli derişimden iki kez tekrarlanarak tekrarlanabilirlik yüzdesi elde edilmiştir. Ayrıca tayin edilebilen en düşük homosistein derişimi belirlenmiştir. Gün içi ve günler arası tekrarlanabilirlik ölçümleri ile de yöntemin verimliliğinin belirlenmiştir. Bir bağlanma deneyinden sonra enjeksiyon vanasından 600 $\mu\text{l}$  glisine: Cl çözeltisi (100 mmol/L, pH 2.5) verilerek reseptör tabakadaki bağlı biyomolekülleri ve serbest bağlanma bölgeleri sonraki bağlanma için hazır hale getirilmiştir (Liu, 2003,a; Liu, 2004; Lee, 2005). Kullanılmadığı zaman kuartz kristaller  $+4^\circ\text{C}$ 'de bekletilmiştir. Deneyler oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Deneysel sonuçlar en az üç değer ortalaması olarak verilmiştir. Ayrıca biyolojik molekül immobilizasyonu öncesi kristal homosistein ile etkileştirilerek özgül olmayan etkileşim olup olmadığı da incelenmiştir.



Şekil 1. Yüzey Modifikasyon İşlemlerinin Aşamalarının Şematik Gösterimi.

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

#### 3.1. Biyolojik molekül immobilizasyonu

Yüzey temizliği veya modifikasyonu aşamasında altın elektrodlu kristallerde yaklaşık  $70 \pm 5$  Hz'lik frekans kaymaları gözlenmiştir. Bu aşamada yüzeylerin temizlendiği ve genellikle de hidrofilik özellik gösterdiği bilinmektedir. Bu durumun literatür ile de uyumlu olduğu görülmüştür (Ayhan, 2008). Sisteamin Immobilizasyonu aşamasında ise  $8 \pm 1$  Hz aralığında frekans kaymaları bulunmuştur. Glutaraldehit (GA) Immobilizasyonu kısmında Sisteamin immobilize kuartz kristallerin üzerine uzatma kolu (spacer arm) takılması amacıyla yine bifonksiyonel özelliğe sahip olan glutaraldehit ( $\text{COH}(\text{CH}_2)_3\text{COH}$ ) kullanılmıştır. Bu aşamada ise yaklaşık ortalama  $12 \pm 1$  Hz frekans kayması gözlenmiştir. BSA bağlanması aşamasında ise  $40 \pm 3$  Hz lik kayma gözlenmiştir. Elde edilen toplu sonuçlar Şekil 2'de sunulmuştur. QCM sensör yüzeyinde aldehit oluşumu sağlandıktan sonra kristal oda sıcaklığında 0,1 mg/mL derişiminde BSA çözeltisine pH 5 fosfat tamponuna daldırılarak 2 saat bekletilmiştir.

Yapılan bir araştırmada 0.3 mg/ml BSA derişiminin yüzey doygunluk derişimine karşılık geldiği bulunmuştur (Liu, 2003). Bu nedenle çalışmanın sunum aşamasında denenmesi düşünülen 0,2-1 mg/ml aralığında yapılacak deneylerle doygunluk noktasının tespitinin zor olacağından BSA derişimi çok daha düşük değerlerde seçilmiştir. Daha yüksek BSA derişimleri (0,5 ve 1 mg/ml) için de deneyler gerçekleştirilmiş ve okunan frekans farkı değerlerinde önemli değişimler gözlenmemiştir. Bu sonuca

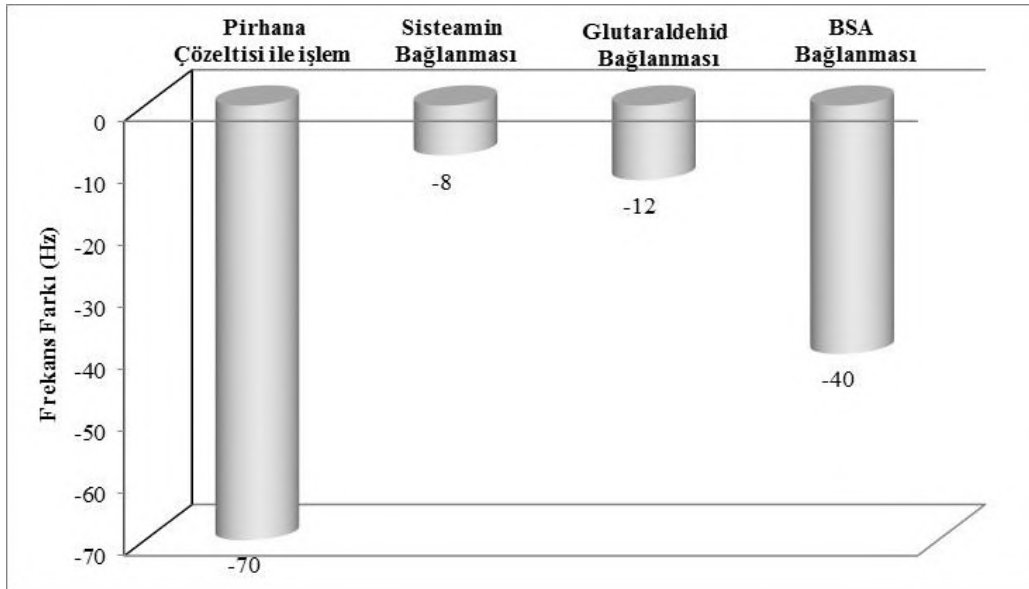
göre elektrot yüzeylerinin doygunluk değerine ulaştığı kabul edilmiştir. BSA derişimi olarak 0,1 mg/ml yüzeyin BSA molekülü açısından zengin ve sonraki aşamalar için uygun bir yüzey olarak kabul edilmiştir. Çalışmanın devamında BSA derişimi 0,1 mg/ml olarak seçilmiş ve bütün sürekli sistem deneylerinde kullanılmıştır.

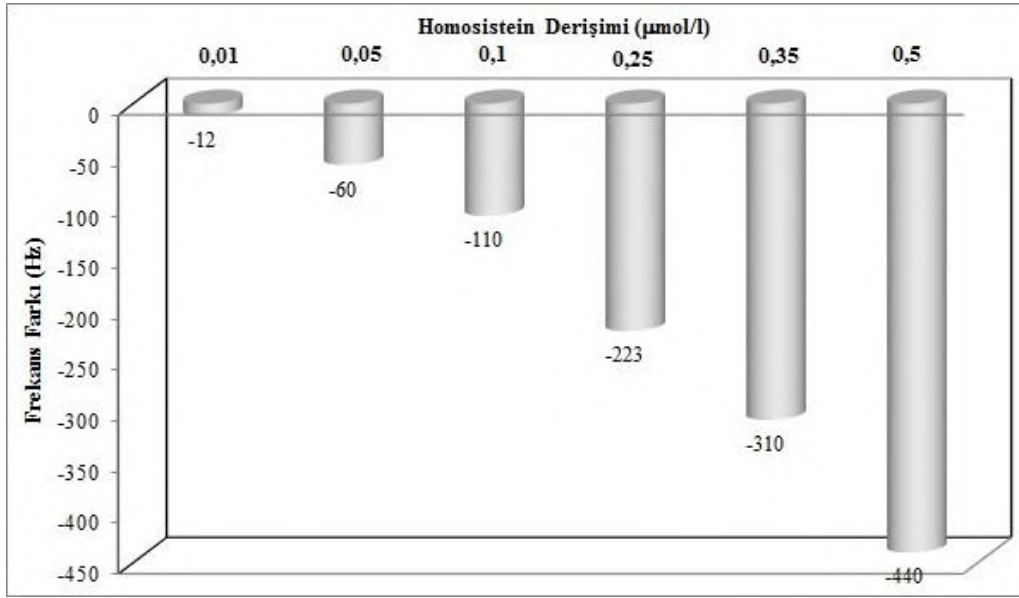
#### 3.2. Sürekli akış sisteminde gerçek zamanlı Homosistein tayini

BSA immobilize edilmiş QCM sensör akış hücresine yerleştirildikten sonra 0.01 M PBS (pH 7.4) çözeltisini kullanarak 100  $\mu\text{L}/\text{dak}$  akış hızında sürekli sistemde 4 farklı derişimde homosistein içeren çözeltilerden 100  $\mu\text{L}$  sürekli sisteme enjeksiyon ile verilmiştir. Çalışma kapsamında seçilen ve kullanılan homosistein derişimleri 0.01, 0.05, 0.1, 0.5 ve 1.0  $\mu\text{M}$  ( $\mu\text{mol}/\text{L}$ ) dir.

Her enjeksiyon sonrası sürekli sistemin yatışkın duruma gelmesi beklenerek frekans değerleri okunmuştur (Şekil 3). Akış sırasındaki sistemin gösterdiği belli bir frekans değeri olduğundan homosistein enjeksiyonu sonrasında okunan frekans değerinden sistemin frekans değeri çıkarılarak her derişim için frekans farkları hesaplanmıştır. Hesaplanan bu frekans farkları derişimlere karşı grafiğe alınarak elde edilen noktalardan bir doğru geçirildiğinde elde edilen kalibrasyon eğrisi iyi bir doğrusallık göstermekte ve determinasyon katsayısı ( $y=86,6x+10,05$ )  $R^2=0.9971$  olarak hesaplanmıştır.

Homosistein için seçmiş olduğumuz derişim aralığının sürekli sistemde çalışılabilecek bir aralık olduğunu ifade etmiştir.

Şekil 2. Yüzey Temizliği, Sisteamin, GA ve BSA Bağlanması Frekans Değişim ( $\Delta F$ ) Değerleri.



Şekil 3. Homosistein Derişiminin Frekans Değişim (AF) Değerleri.

Çalışmanın bundan sonraki aşamalarında bu derişim aralığı kullanılarak sürekli sistem de gerçek zamanlı homosistein ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın basamaklarına geçmeden önce sürekli sistemin verim hesabı da gerçekleştirilmiştir.

Derişimi 0,2 µM olarak hazırlanan bir homosistein çözeltisini elde edilen doğru dekleminde hesaplırsak 27,32 Hz bulunmaktadır. Aynı çözelti sürekli sisteme enjekte edildiğinde elde edilen frekans kayma değeri 27 Hz olarak ölçülmüştür.

$$27 \text{ Hz} / 27,32 \text{ Hz} \times 100 = \% 98,8$$

Diğer bir denemede ise derişimi 0,3 µM olarak hazırlanan bir homosistein çözeltisini elde edilen doğru dekleminde hesaplırsak 35,98 Hz bulunmaktadır. Aynı çözelti sürekli sisteme enjekte edildiğinde elde edilen frekans kayma değeri 35 Hz olarak ölçülmüştür.

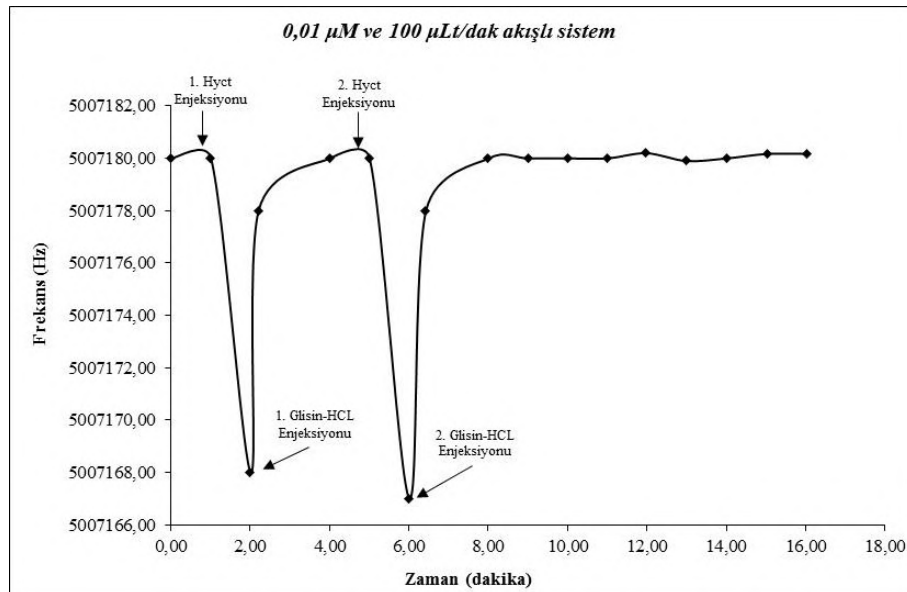
$$35 \text{ Hz} / 35,98 \text{ Hz} \times 100 = \% 97,27$$

$$\text{Ortalama verim } (98,8+97,27)/2 = \% 98,04$$

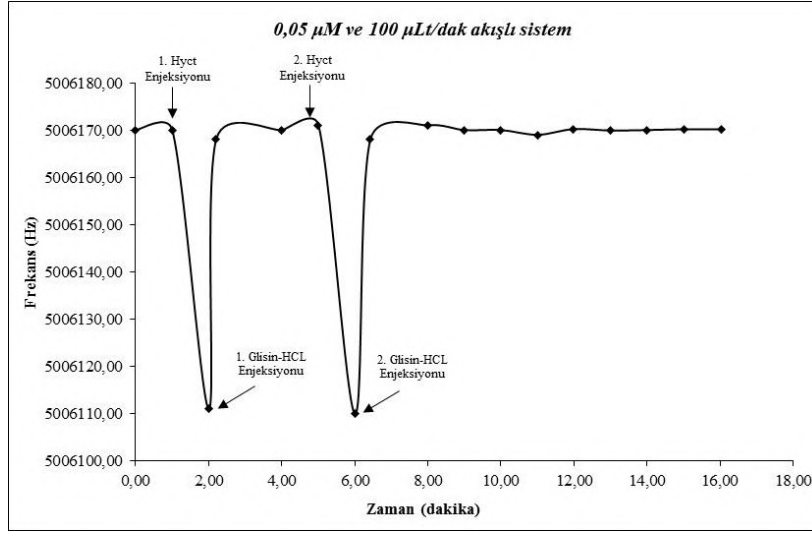
İlk ve ikinci ölçümlerde elde değerlerin % verim hesabı yapıp ortalaması alındığında kalibrasyonu yapılan sürekli sistemin yaklaşık % 98 gibi yüksek bir verim ile çalıştığı bulunmuştur.

### 3.3. Gerçek zamanlı ölçümlerin yapılması

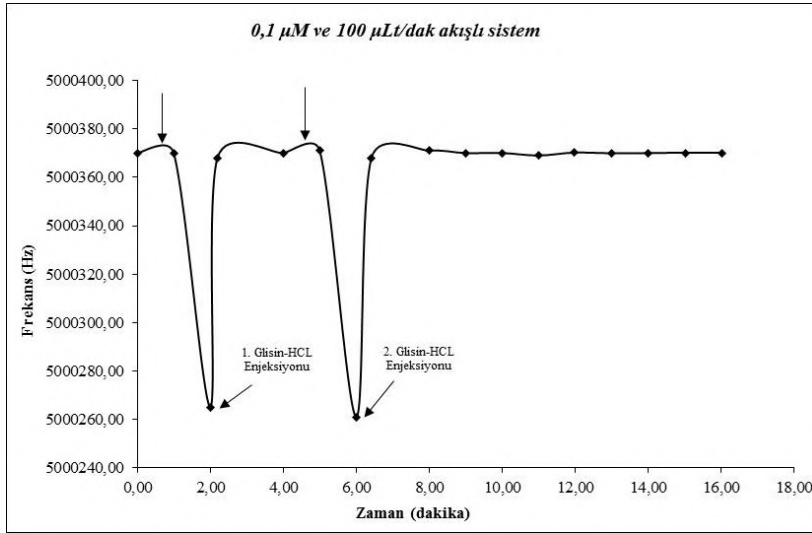
Akış sırasında homosistein enjeksiyonu ile elde edilen kalibrasyon doğrusu ve diğer ölçümler sırasında takip edilen yöntemler aşağıda belirtildiği şekilde gerçekleşmiştir. Bu amaçla öncelikle 0,01 µM homosistein derişiminde çözelti hazırlanmış ve 100 µLt/dak akış hızı olan sisteme enjekte edilmiştir. Bu enjeksiyon için öncelikle sistemin yatışkın duruma gelmesi beklenmiş (yaklaşık ½ saat) yatışkın durum frekansı belirlenmiş ardından 100 µLt örnek akış sistemine enjekte edilmiştir (Şekil 4).



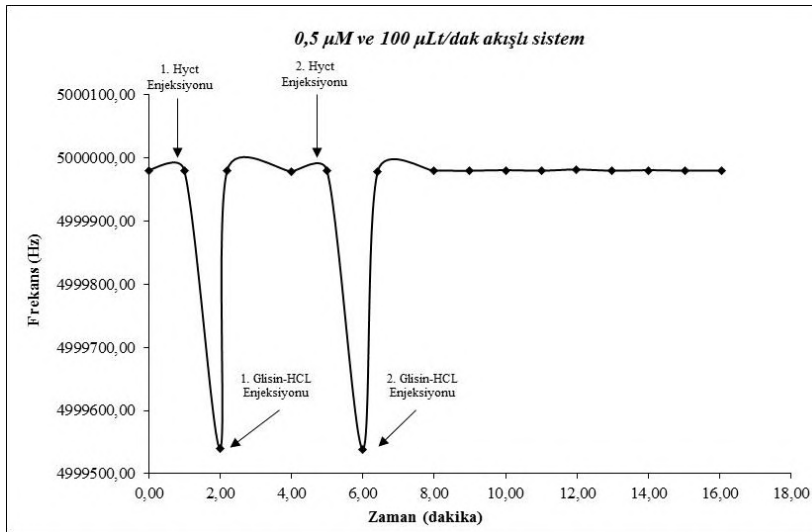
Şekil 4. 0,01 µM homosistein derişimi için zamana karşı akış sistemindeki davranışı.



Şekil 5. 0,05 µM homosistein derişimi için zamana karşı akış sistemindeki davranışı.



Şekil 6. 0,1 µM homosistein derişimi için zamana karşı akış sistemindeki davranışı.



Şekil 7. 0,5 µM homosistein derişimi için zamana karşı akış sistemindeki davranışı.

Örnek sisteme enjekte edildikten sonra frekans düşüşleri saptanmış ve daha sonra Glisin-HCL enjekte edilerek homosisteinin bağlandığı bölgelerden koparılması sağlanarak ölçülen frekans değerlerinin başlangıç noktalarına yani

elektrodun yatışkın durum frekansına gelmesi beklenmiştir. Bu durum oluştuğunda ise ikinci homosistein enjeksiyonu ve ardından ikinci Glisin-HCL enjeksiyonu ile aynı durumların tekrarlanması sağlanmıştır.

Çalışmanın bundan sonraki aşamalarında homosisteninin diğer derişimleri için de benzer şekilde deneyler gerçekleştirilmiştir. 0,05 µM homosistein derişim için yapılan benzer çalışmada elde edilen grafik Şekil 5'de sunulmaktadır. Şekilden görüleceği gibi yatışkın durum sırasında yapılan 1. ve 2. homosistein enjeksiyonlarında yaklaşık 60-75 Hz'lik bir frekans düşüşü gözlenmiştir. Aynı şekilde 1. ve 2. Glisin-HCl enjeksiyonlarında da sistemin yatışkın durum frekans değerlerine tekrar ulaşmıştır.

0,1 µM homosistein derişim için yapılan benzer çalışmada elde edilen grafik Şekil 6'da sunulmaktadır. Şekilde de yatışkın durum sırasında yapılan 1. ve 2. homosistein enjeksiyonlarında yaklaşık 100-110 Hz'lik bir frekans düşüşü gözlenmiştir. Aynı şekilde 1. ve 2. Glisin-HCl enjeksiyonlarında da sistemin yatışkın durum frekans değerlerine tekrar ulaşmıştır. 0,5 µM homosistein derişim için yapılan çalışmada ise elde edilen grafik Şekil 7'de sunulmaktadır. Şekilden de görüleceği gibi yatışkın durum sırasında yapılan 1. ve 2. homosistein enjeksiyonlarında yaklaşık 400-450 Hz'lik bir frekans düşüşü gözlenmiştir. Aynı şekilde 1. ve 2. Glisin-HCl enjeksiyonlarında da sistemin yatışkın durum frekans değerlerine tekrar ulaşmıştır.

Çalışmanın bu aşamasında ise gün içi ve günler arası tekrarlanabilirlik deneyleri gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın son aşamasında seçilen bir homosistein derişimi için gün içinde ve günler arası olmak üzere deneyler gerçekleştirilmiş ve bu sayede modifiye edilen bir piezo kristal için sürekli sistemde kaç kez ölçüm yapılabildiği ve hangi hassasiyet sınırları içinde ölçümler yapıldığı araştırılmış ve bulunan sonuçlar aşağıda tartışılmıştır. Yukarıdaki deneyler sırasında elde edilen frekans farkı 100 Hz dolaylarında olan 0,1 µM homosistein derişim değerinde deneylere devam edilmiştir.

Aynı gün içinde farklı saatlerde yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar Çizelge 1'de verilmiştir. Benzer deneyler yine 0,1 µM homosistein derişiminde örneklerin farklı günlerde sisteme enjekte edilerek deneylere devam edilmiştir. Farklı günlerde yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar ise Çizelge 2'de verilmektedir.

Çizelge 1'den de görüleceği gibi aynı gün içinde 24 saate kadar ölçümler alınmış ve elde edilen frekans kayması değeri 101 Hz ile 113 Hz arasında değişen değerler elde edilmiştir. Çizelge 2 den de 120 güne kadar tekrar edilen günlerarası deney sonuçları sunulmuştur. Bu değerlerde yine 101 Hz ile 118 Hz arasında değişim göstermiştir. Hem gün içi hem de günlerarası gerçek zamanlı olarak incelenmiş ve insan IgG için en düşük değer  $6.5 \times 10^{-8}$  mol L<sup>-1</sup> olarak bulunmuştur (Liu, 2003, b). Histidine ve IgG arasındaki etkileşim QCM ile yine gerçek zamanlı olarak araştırıldığında insan IgG için bulunan en düşük değer  $1.3 \times 10^{-7}$  mol L<sup>-1</sup> olarak belirlenmiştir (Liu, 2003b). Sığır geçici humma virüsünün (BEFV) tespiti amacı ile yapılan bir çalışmada 5 µg/ml alt tayin değerine ulaşılmıştır (Lee, 2005). Başka bir çalışmada tasarlanan elektrokimyasal aptasensör ile  $1 \times 10^{-8}$  mol/L tayin limiti elde edildiği rapor edilmiştir. QCM-temelli homosistein analizinde Çizelge 3'te ulaşılabilen en düşük tayin değerleri ve ilgili çalışmalar açıklanmıştır.

Çizelge 1. Gün içi tekrarlanabilirlik deneyleri.

Saat	Tekrar aralıkları												
	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	24.
Frekans Farkı (Hz)	102	105	110	112	101	103	108	109	101	113	111	102	105

Çizelge 2. Günler arası tekrarlanabilirlik deneyleri.

Gün	Tekrar aralıkları												
	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	15.	30.	45.	60.	90.	120.
Frekans Farkı (Hz)	112	115	110	102	101	104	118	102	111	113	101	106	108

Çizelge 3. Farklı çalışmalarda biyolojik moleküller için elde edilen en düşük tayin değerleri.

En düşük tayin değeri	Araştırma
$1 \times 10^{-8}$ mol/L	Homosistein tayini (BSA biyomolekülünün immobilizasyonu ile) (Bu çalışma)
$1 \times 10^{-7}$ mol/L	Homosistein tayini (Homosistein antibadi immobilizasyonu ile) (Ayhan, 2020)
$1 \times 10^{-8}$ mol/L	Elektrokimyasal Altın nanopartikül-aptamer ile Homosistein tayini (Beitollahi, 2020)
$6,5 \times 10^{-8}$ mol/L	İnsan IgG tayini Liu, 2003a
$1 \times 10^{-6}$ mol/L	Human Hcy ELISA Kit
$1,3 \times 10^{-7}$ mol/L	Histidin-IgG etkileşimi Liu, 2003b
5 µg/mL	Sığır geçici humma virüsü Lee, 2005



## 4. Sonuç

Elde edilen bu sonuçlara genel olarak bakılacak ve yorumlanacak olursa Homosisteinin sürekli sistemde tayini için elde edilen kalibrasyon grafiği içinde kalan tüm derişimler için gerçek zamanlı ölçüm sistemi olarak yapılan ve uygulanan piezo kristalli sensör sistemi başarıya ulaşmıştır. Çalışmada Homosistein için en düşük tayin edilebilir değer  $1 \times 10^{-8}$  mol L<sup>-1</sup> (10 nanoM) olarak bulunmuştur.

Sunulan bu çalışmada elde edilen sonuçlar göstermektedir ki kuartz kristal mikroterazinin kullanıldığı sürekli akış sistemi ile homosistein tayini için yüksek hassasiyette bir NANOBİYOSENSÖR yapmak mümkündür. Bu nedenle halen kullanılan sistemler yanında bir başka yöntem olarak da ele alınabilir. Elde edilen veriler daha sonraki bilimsel çalışmalar için de yol gösterecek niteliktedir.

## 5. Teşekkür

Bu çalışma TÜBİTAK tarafından 108T642 nolu proje ile maddi olarak desteklenmiştir.

## Kaynakça

Andersson, M., Andersson, J., Sellborn, A., Berglin, M., Nilsson, B., Elwing, H., Quartz crystal microbalance-with dissipation monitoring (QCM-D) for real time measurements of blood coagulation density and immune complement activation on artificial surfaces. *Biosensors and Bioelectronics*, 21, 79-86, (2005)

Ayhan, F., Kaya, G., Ayhan, H., Homosistein-BSA-afinite temelli biyosensör tasarımı. *Türk Biyokimya Dergisi*, 39(3):383–396, (2014).

Beitollahi, H., Zaimbashi, R., Mahani, M. T., Tajik, S., A label-free aptasensor for highly sensitive detection of homocysteine based on gold nanoparticles. *Bioelectrochemistry* 134, 107497, (2020).

Bereli, N., Çimen, D., Hüseyinli, S., Denizli, A., Detection of amoxicillin residues in egg extract with a molecularly imprinted polymer on gold microchip using surface plasmon resonance and quartz crystal microbalance methods. *Journal of Food Science*, Vol. 85, Iss. 12, (2020).

Bunde, R.L., Jarvi, E.J., Rosentreter, J.J., Piezo electric quartz crystal biosensor, *Talanta*, 46, 1223-36, (1998).

Frantzen, F, Faaren, AL, Alfheim, I, Nordhei, AK, Enzyme conversion immunoassay for determining total homocysteine in plasma or serum, *Clinical Chemistry*, 44, 311-6, (1998).

Herne, T. M., Tarlov, M. J., Characterization of DNA Probes Immobilized on Gold Surfaces, *Journal of American Chemical Society*, 119, 8916-20, (1997).

Horst, D. J., Junior, P. P. de A., Duvoisin, C. A., Vieira, R. de A., Fabrication of Conductive Filaments for 3D-printing: Polymer Nanocomposites. 10, 6, , 6577 – 6586, (2020).

Hou K.C., Zaniewski R. and Roy S., Protein A immobilized affinity cartridge for immunoglobulin purification, *Biotechnology and Applied Biochemistry*, 13, 257-62, (1991).

Imai, K., Toyooka, T., Fluorometric Assay of Thiols with Fluorobenzoxadiazoles, *Methods in Enzymology*, 143, 67-75, (1987).

Jacobsen, D.W., Gatautis, V.J., Green R, Determination of Plasma Homocysteine by High-Performance Liquid Chromatography with Fluorescence Detection, *Analytical Biochemistry*, 178, 208-14, (1989).

Karamollaoğlu, İ., Öktem, H. A., Mutlu, M., QCM-based DNA biosensor for detection of genetically modified organisms (GMOs) *Biochemical Engineering Journal* 44, 142–150, (2009).

Karousos, N.G., Aouabdi, S., Way, A.S., Reddy SM, Quartz crystal microbalance determination of organophosphorus and carbamate pesticides, *Analytica Chimica Acta*, 469, 189–96, (2002).

Krijt, J., Vackova M, Kozich, V. Measurement of homocysteine and other aminothiols in plasma: advantages of using tris(2-carboxyethyl)phosphine as reductant compared with tri-n-butylphosphine, *Clinical Chemistry*, 47, 10, 1821-8, (2001).

Laibinis, P. E., Whitesides, G. M., Allara, D. L., Tao, Y.-T., Parikh, A. N., Nuzzo, R. G., Monolayers of *n*- Alkanethiols on the Coinage Metal Surfaces, Cu, Ag, Au, *Journal of American Chemical Society*, 113, 7152-7167, (1991).

Lee, Y.G., Chang, K.S., Application of a flow type quartz crystal microbalance immunosensor for real time determination of cattle bovine ephemeral fever virus in liquid, *Talanta*, 65, 1335-1342, (2005).

Likogianni, V., Janel, N., Ledru, A., Beaune, P., Thiol compounds metabolism in mice, rats and humans: Comparative study and potential explanation of rodents protection against vascular diseases, *Clinical Chimica Acta*, 372, 140-6, (2006).

Liu, Y., Yu, X., Zhao, R., Shangguan, D., Li, Y., Zuyi, B., Liu, G., Real time kinetic analysis of the interaction between immunoglobulin G and histidine using quartz crystal biosensor in solution, *Biosensors and Bioelectronics*, 18, 1419-1427, (2003, a).

Liu, Y., Yu, X., Zhao, R., Shangguan, D., Li, Y., Zuyi, B., Liu, G., Quartz crystal biosensor for real-time monitoring of molecular recognition between protein and small molecular medicinal agents, *Biosensors and Bioelectronics*, 19, 9-19, (2003, b).

Liu, Y., Zhang, W, Yu, X., Zhang, H., Zhao, R., Shangguan, D., Li, Y., Shen, B., Liu, G., Quartz crystal biosensor for real-time kinetic analysis of interaction between human TNF- $\alpha$  and monoclonal antibodies, *Sensors and Actuators: B*, 99, 416–24, (2004).

Liu, Y.C, Wang, C.M., Hsiung, K.P., Comparison of Different Protein Immobilization Methods on Quartz Crystal Microbalance Surface in flow Injection Immunoassay, *Analytical Biochemistry*, 299, 130-5, (2001).

Marx, K. A., Quartz Crystal Microbalance: A Useful Tool for Studying Thin Polymer Films and Complex Biomolecular Systems at the Solution-Surface Interface, *Biomacromolecules*, 4 (5), 1099 -1120, (2003).

Matthews, O.A., Shipway, A. N., Stoddart, J.F., Dendrimers—Branching out from curiosities into new Technologies, *Progress in Polymer Science*, 23, 1-56, (1998).

Ozalp, V. C., Bayramoglu, G., Erdem, Z., Arica, M. Y., Pathogen detection in complex samples by quartz crystal microbalance sensor coupled to aptamer functionalized core-shell type magnetic separation. *Analytica Chimica Acta* 853 533–540, (2015).

Refsum, H., Ueland, M., Svardal. A.M., Fully Automated Fluorescence Assay for Determining Total Homocysteine in Plasma, *Clinical Chemistry*, 35(9), 1921-7, (1989).

- Sauerbrey, G.A., Use a quartz vibrator form weight thin films on a microbalance, *Z. Phys.*, 155, 206-210, (1959).
- Shende, P., Kasture, P., Dendrimeric biosensor for detection of *E. coli O157:H7* in diet. *Biointerface Research in Applied Chemistry*. 10, 2, , 5128 – 5131, (2020).
- Tanaka, M., Mochizuki, A., Motomura, T., Shimura K, Onishi M, Okahata Y, In situ studies on protein adsorption onto a poly(2-methoxyethylacrylate) surface by a quartz crystal microbalance, *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 193, 145–152, (2001).
- Ubbink, J.B., Assay Methods for the Measurement of Total Homocyst(e)ine in Plasma. *Seminars in Thrombosis and Hemostasis*, 26 (3), 233-41, (2000).
- Ueland, P.M., Refsum, H., Stabler, S.P., Malinow MR, Andersson A, Allen RH. Total Homocysteine in Plasma or Serum: Methods and Clinical Applications (Review), *Clinical Chemistry*, 39, 1764-79, (1993).
- Vester, B., Rasmussen, K., High Performance Liquid Chromatography Method for Rapid and Accurate Determination of Homocysteine in Plasma and Serum, *European Journal of Clinical Chemistry and Clinical Biochemistry*, 29, 549-54, (1991).
- Xie, Q.; Xiang, C.; Yuan, Y.; Zhang, Y.; Nie, L. and Yao, S.; A novel dual-impedance-analysis EQCM system—investigation of bovine serum albumin adsorption on gold and platinum electrode surfaces. *Journal of Colloid and Interface Science* 262, 107–115, (2003).
- Yılmaz, M., Bakhshpour, M., Göktürk I., Kevser Piskin A., Denizli, A., Quartz Crystal Microbalance (QCM) Based Biosensor Functionalized by HER2/neu Antibody for Breast Cancer Cell Detection. *Chemosensors*, 9, 80, (2021).
- Zhang, H., Zhao, Rui., Chen, Z., Shangguan, D., Liu, G., QCM–FIA with PGMA coating for dynamic interaction study of heparin and antithrombin III, *Biosensors and Bioelectronics* 21, 121-127, (2004).
- Zhang, Q., Huang, Y., Zhao, R., Liu, G., Chen, Y., Determining binding sites of drugs on human serum albumin using FIA-QCM. *Biosensors and Bioelectronics* 24, 48–54, (2008).



# Preparation of Gentamicin Conjugated Cellulose Nanocrystals and Evaluation of Efficacy on Different Microorganisms

Aydan Gülsu<sup>1\*</sup>, Ecem Yüksektepe<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Muğla Sıtkı Koçman University, Molecular Biology and Genetics Department, Muğla, Turkey (ORCID: 0000-0001-5026-6868 [aydan@mu.edu.tr](mailto:aydan@mu.edu.tr))  
<sup>2</sup>Fenerbahçe University, Pathology Laboratory Techniques Department, İstanbul, Turkey (ORCID: 0000-0002-8041-2915) [ecem.yuksektepe@fbu.edu.tr](mailto:ecem.yuksektepe@fbu.edu.tr)

(First received 23 June 2021 and in final form 20 October 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.956593)

**ATIF/REFERENCE:** Gülsu, A. & Yüksektepe, E. (2021). Preparation of Gentamicin Conjugated Cellulose Nanocrystals and Evaluation of Efficacy on Different Microorganisms. *European Journal of Science and Technology*, (27), 1105-1112.

## Abstract

Large amounts of waste cotton material generated in textile production cause environmental problems and resource depletion. The production of nanocrystalline cellulose is one of the effective way to the recycling of waste cotton. Cellulose nanoparticles are of great interest in biomedical applications due to their various properties. In this study cellulose nanocrystals were produced from waste cotton through acid hydrolysis in a single step. The extraction of cellulose from waste cotton was carried out by alkaline treatment, afterthat the cellulose nanocrystals were isolated by the nitric acid (68% w/w) and hydrochloride acid (37% w/w) mixture acid hydrolysis. Cellulose nanocrystals were oxidized by sodium periodate (NaIO<sub>4</sub>) for functionalization. The prepared cellulose nanocrystals were characterized by Transmission electron microscopy (TEM) and Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) then gentamicin conjugation studies were carried out. Gentamicin conjugated cellulose nanoparticles were examined for antimicrobial activity against *Escherichia coli* (*E. coli*), *Staphylococcus aureus* (*S. Aureus*), *Pseudomonas aeruginosa*(*aeruginosa*), *Klebsiella pneumoniae* (*K. pneumoniae*) and antifungal activity against *Candida albicans* (*C. Albicans*). The results confirmed that the periodate oxidized cellulose nanocrystals are effective on bacterai and fungus.

**Keywords:** Waste cotton, cellulose nanocrystal, mixed acid hydrolysis method, gentamicin, antimicrobial activity.

## Gentamisin Konjuge Selüloz Nanokristallerinin Hazırlanması ve Farklı Mikroorganizmalar Üzerindeki Etkinliğinin Değerlendirilmesi

### Öz

Tekstil üretiminde ortaya çıkan büyük miktarlardaki atık pamuk malzemesi, çevre sorunlarına ve kaynakların tükenmesine neden olmaktadır. Atık pamuğun geri dönüştürülmesinin en etkili yollarından biri nanokristalin selüloz üretimidir. Selüloz nanokristaller, çeşitli özelliklerinden dolayı biyomedikal uygulamalarda büyük ilgi görmektedir. Bu çalışmada atık pamuktan asit hidrolizi ile selüloz nanokristaller tek aşamada üretilmiştir. Selüloz ekstraksiyonu, atık pamuktan alkali muamelesi ile gerçekleştirildikten sonra selüloz nanokristaller, nitrik asit (%68 w/w) ve hidroklorür asit (%37 w/w) karışımı asit hidroliz metodu ile izole edilmiştir. Selüloz nanokristaller, sodyum periyodat (NaIO<sub>4</sub>) ile oksitlenerek modifiye edilmiştir. Hazırlanan selüloz nanokristaller, Transmisyon elektron mikroskobu (TEM) ve Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FTIR) ile karakterize edildikten sonra gentamisin konjugasyon çalışmaları yapılmıştır. Gentamisin konjuge selüloz nanopartiküllerin, *Escherichia coli* (*E. coli*), *Staphylococcus aureus* (*S. aureus*), *Pseudomonas aeruginosa* (*P. aeruginosa*), *Klebsiella pneumoniae* (*K. pneumoniae*)'ye karşı antimikrobiyal aktiviteleri ve *Candida Albicans*'a (*C. albicans*) karşı antifungal etkisi araştırılmıştır. Sonuçlar, periyodat oksitlenmiş selüloz nanokristallerinin bakteri ve mantar üzerinde etkili olduğunu doğrulamıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Atık pamuk, selüloz nanokristal, karışık asit hidroliz metodu, gentamisin, antimikrobiyal aktivite

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

## 1. Introduction

Large quantities of cotton products are produced and used around the world, causing major environmental problems as well as a great waste of natural resources. There is a great concern that if the waste cotton is not disposed of properly, it will create many problems such as environmental pollution and waste of resources. Environmental and waste management of cotton could be improved by the production of cellulose nanocrystals from waste cotton. The waste cotton is the potential source for production of nano crystalline cellulose. Waste cotton consists mainly of cellulose (> 95-99%) (Satyamurthy et al., 2011), is one of the most important sources used for obtaining cellulose. Cellulose nanocrystals can be prepared from many sources through acid hydrolysis (Chen et al., 2018). The sulfuric acid hydrolysis method is the most widely used method for producing cellulose nanocrystals. Apart from sulfuric acid, mineral acids such as hydrochloric, nitric acid are also used for cellulose extraction. Strong acids remove amorphous parts and yields a highly crystalline parts.

Cellulose, is a polymer of anhydro- $\beta$ -D-glycopyranose units linked with via 1  $\rightarrow$  4 glycoside bonds (Muñoz-Bonilla et al., 2019). Cellulose have wide application areas in various fields with their superior properties such as strong mechanical properties, low density, biodegradability and biocompatibility (Lin et al., 2014, Wei et al., 2014, İslam et al., 2018). Cellulose can be chemically modified by partial oxidation with sodium periodate for production of carbonyl groups. The oxidation of cellulose, provides more active sites on the cellulose chains. The oxidation of cellulose with sodium periodate is known to cleave the C2–C3 single bonds of the D-glucopyranose units yielding so called dialdehyde cellulose (Dacrory et al., 2019). In this way, cellulose can be used in different applications such as drug carrier, separation of protein and adsorption of heavy metal.

Many infectious diseases are occurring and new effective drug systems and alternative materials with antimicrobial and antifungal bioactive properties should be investigated for their treatment (Balasubramaniam et al., 2021). The rapid emergence of resistant bacteria threatens the effectiveness of antibiotics that save millions of lives. Along with this *Candida* spp. is one of the most common cause of invasive fungal infections and is resistant to antifungal agents therefore new antifungal approaches should be investigated in order to eliminate the phenomenon of resistance in *Candida* spp. Moreover, antibiotics require frequent administration (several times a day) due to their rapid metabolism. Antibiotics generally have low bioavailability due to their limited retention time in the blood. To overcome this obstacles, scientists are researching for novel and more efficient way to deliver antibiotics. Recently various drugs are incorporated along with nanoparticles to enhance its antimicrobial nature. Gentamicin is the class of drug known as an aminoglycoside antibiotic, widely used in clinical applications due to its broad antibacterial spectrum, good curative effect and other advantages. In recent years, research has been carried out to find new antimicrobial activities of gentamicin, such as antifungal effects. Gentamicin has clinical applications in the treatment of various infections (Batul et al., 2020). It works by inhibition of bacterial protein synthesis (Beganovic et al., 2018). Its mechanism of action against bacteria involves by binding to the 30s ribosomal subunit by irreversible, inhibit the initiation of transcription of mRNA and causing the formation of interrupted or denature proteins. The mechanism of action of gentamicin against fungi is

to inhibit the growth of fungi by interfering with their plasma membrane functions (Chang et al., 2014).

Drug carrier systems are the method for delivery of therapeutic agents which can provide improved pharmacokinetic. For the treatment of various infectious disease, nanocarrier drug delivery systems are gaining increasing importance. Conjugation of antibacterial antifungal drugs with nanocarriers is effective in increasing the bioavailability of these drugs.

Natural polymers are known as having a great potential in biomedical applications in recent years due to enormous features such as biocompatibility with no immunological reaction and biodegradability (Coli'c 2020 et al., Tomi'c et al., 2018). Recently biopolymeric nanoparticles have attracted much attention due to their effectiveness in stabilizing and protecting the bioactive molecules from various environmental hazards degradation. Such drug transporter systems are stable for long circulation time in blood stream.

The aim of this study was to evaluate the antimicrobial activity of gentamicin conjugated cellulose nanocrystals. Cellulose was extracted from waste cotton with pretreatment procedures and cellulose crystals were obtained through acid hydrolysis using nitric and hydrochloric mixture acids. Prepared nanocrystals were oxidized by sodium periodate to yield carbonyl (C=O) groups. Cellulose nanoparticles having carbonyl functionality was treated with gentamicin and conjugated by this way. Gentamicin conjugated cellulose nanocrystals' antimicrobial effect were evaluated against *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Klebsiella pneumoniae* and antifungal activity against *Candida albicans*.

## 2. Material and Method

### 2.1. Material

Waste Cotton was supplied from Ege University textile engineering department, Sodium Hydroxide (NaOH) (Merck), Sodium Hypochlorite (NaClO) (Merck), Nitric acid (HNO<sub>3</sub>) (Merck), Hydrochloric Acid (HCl) (Merck), Sodium periodate (NaIO<sub>4</sub>) (Merck), Acetic Acid (CH<sub>3</sub>COOH) (Merck), Sodium Acetate (C<sub>2</sub>H<sub>3</sub>NaO<sub>2</sub>) (Merck), Sodium Phosphate Dibasic (Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>) (Merck), Sodium Phosphate Monobasic (NaH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>) (Merck), Gentamicin (Sigma), Nutrient Broth Medium (Merck), Antimicrobial Susceptibility Discs (Thermo Fisher Scientific), Mueller-Hinton Broth (Merck), Microorganisms (*Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Klebsiella pneumoniae* and *Candida albicans*) supplied from Muğla Sıtkı Koçman University Vocational School of Health Services. All solutions were prepared with distilled water.

### 2.2. Method

#### 2.2.1. Preparation of cellulose nanocrystals

Cellulose nanocrystals were prepared from waste cotton. Pretreatment process was realized initially. Then mixed acid method was evaluated to hydrolysis cellulose (Xiong et al., 2012). Cellulose nanocrystals were obtained in a single step. Briefly 1g of waste cotton was cut into small pieces and treated with 100 mL of 3 % NaOH and boiled while magnetical stirring for 6 h, to clean and remove other organic impurities. The resultant mass was cooled, and washed with distilled water until pH 7 was achieved. For the decolorization the residue was boiled and treated with 100 mL of 0.6 % NaClO for 30 min, then filtered and washed with distilled water until to neutral pH. The cleaned and decolorized

sample was subjected to acid hydrolysis. The mixed solution of nitric acid (68 % w/w), hydrochloric acid (37 % w/w) and distilled water (1:2:2) (v/v) was prepared and 100 mL of this solution was added to the sample at 60 °C and stirred for 1 hour. After completed hydrolysis, the sample was filtered and washed with distilled water until the neutralization. The sample was dried at room temperature.

### 2.2.2. Morphological investigation and FTIR analysis

The size and shape of the cellulose particles were examined by TEM (FEI, model Tecnai G<sup>2</sup> Spirit BioTwin) Nanocrystal solution was diluted with distilled water and sonicated. A drop of sample was mounted onto a carbon grid and air dried. The sample was then examined by TEM.

FTIR analysis were performed to confirm the presence of carbonyl group. Samples were ground with dried KBr to prepare tablets. FTIR spectra of samples were realized using Nicolet IS10 spectrophotometer (Thermo Scientific) at room temperature from 3750 to 600 cm<sup>-1</sup> with 32 scans at a resolution of 16 cm<sup>-1</sup>.

### 2.2.3. Sodium Periodate (NaIO<sub>4</sub>) oxidation

12 mg cellulose nanocrystals were dispersed in 1 ml of distilled water and sonicated for 20 minutes and 250 µL of dispersed cellulose nanoparticles was taken and completed to 5 ml with 0.1 M pH: 4.5 acetic acid-sodium acetate buffer. Five different NaIO<sub>4</sub> concentration was prepared for oxidation procedure to determine optimum NaIO<sub>4</sub> concentration. 0.1-0.5 g NaIO<sub>4</sub> was added into the each vessel to obtain 2-10% (w/v) NaIO<sub>4</sub> concentration. The reaction vessels were kept in the dark for 2 hours. After the mixtures were centrifuged at 4,000 rpm for 15 minutes, 500 µL pH: 7.4 phosphate buffer was added to the precipitated parts and sonicated for half an hour.

### 2.2.4. Preparation of gentamicin conjugated cellulose nanocrystals

Drug conjugation studies were evaluated by incubation method. Briefly 200 µl of periodate-oxidized cellulose nanocrystals (3mg/mL) were dissolved in phosphate buffer mixed with 400 µL gentamicin (40mg/mL). After the samples were mixed in the dark for 3 hours on the magnetic stirrer, the samples were centrifuged at 4000 rpm for 15 minutes. Pellet was dissolved again by adding 500 µl pH:7.4 phosphate buffer on the precipitated parts. This process was repeated 3 times. Conjugated drug amount to the cellulose nanocrystals were calculated by using the indirect method. Unbound gentamicin was calculated by the difference between the initial drug amount and the free amount of drug in the supernatant.

### 2.2.5. Antibacterial activity and Antifungal activity

The antimicrobial activity test of the samples was performed using the disk diffusion (DD) method (Bauer, 1966). Microorganisms were cultivated in tubes containing Nutrient Broth. 4 bacteria (*E. coli*, *S. aureus*, *P. aeruginosa*, *K. pneumoniae*) were incubated at 37°C and *C. albicans* was incubated at 25°C for 24 hours, so microorganisms were activated. At the end of the incubation, the microorganism was inoculated with 10<sup>6</sup>-10<sup>7</sup> CFU/ml by spreading method on Mueller-Hinton Agar medium and waited for 30 minutes for the microorganisms to be absorbed. After the microorganisms were ready, antibiogram discs were placed in petri dishes with a

distance of 2 cm between them. 40 µL of gentamicin conjugated cellulose nanoparticles were added to the antibiogram discs. Cellulose nanocrystals without gentamicin conjugation were used for control. Petri dishes were incubated at 37° for 48 hours and antimicrobial effects of samples on the microorganism were examined. The inhibition diameter zones were measured (mm) and photographed.

## 3. Results and Discussion

### 3.1. Cellulose nanocrystal preparation

In this study cellulose was obtained from waste cotton by applying alkaline bleaching treatments which is called pretreatment. Pretreatments are generally used for the produce pure cellulose from different cellulose sources (El Achaby et al., 2018a). The non cellulosic compounds such as hemicellulose, lignin and others are removed by this process. Waste cotton is treated with alkali to dissolve hemicellulose, followed by bleaching to remove lignin (Trachea et al., 2014). Cellulose fibers than subjected to acid hydrolysis. Cellulose nanocrystals are primarily obtain from waste cotton by mineral acid hydrolysis (hydrochloric, sulfuric acid, nitric acid etc.) The mechanism of hydrolysis is that the acid hydrogen ions can easily attack the amorphous regions of the cellulose to break the 1→4 glycoside bonds so that the amorphous regions are removed (Tan et al., 2015). The *most commonly used* hydrolysis method for *producing cellulose nanocrystals* is *sulfuric acid* hydrolysis method (Huang et al., 2020). However, sulfuric acid has many drawbacks. Sulfuric acid is a strong acid, hydrolysis reaction result in lower yields due to the excess degradation. Therefore, recently, increased efforts have been made to use other mineral acids alternative to sulfuric acid (Liu et al., 2014). HNO<sub>3</sub> (nitric acid) is as an alternative to the strong acids in the cellulose isolation. Because it is miscible in water and has less corrosive character. HNO<sub>3</sub> was used to remove amorphous region of cellulose that contribute increasing the cellulosic yield. HCl (Hydrochloric acid) is also commonly used for the isolation of cellulose nanocrystals. Hydrolysis with HCl ensures that the superficial hydroxyl groups remain unmodified (Kassab et al., 2019a). Therefore, mixture of HNO<sub>3</sub> and HCl were used for more efficient isolation of cellulose nanocrystals. As a result, by using HNO<sub>3</sub> and HCl, the properties of cellulose crystals were improved in terms of yield, purity and crystallinity (Hanani et al., 2017, Chauhan et al., 2010).

### 3.2. Cellulose modification and Gentamicin conjugation

The oxidation of cellulose is a very important reaction in cellulose chemistry. This reaction produces new group and reactive sites, such as carbonyl groups. The oxidation method with sodium periodate is one of the most used methods for the functionalization of cellulose. Sodium periodate oxidized cellulose is biodegradable and biocompatible (Maia et al., 2017). Each glucose unit in the cellulose molecule contains three hydroxyl groups, at the C6 position (primary alcohol) and two at the C2 and C3 positions (secondary alcohols), which are primarily responsible for the functionalization of cellulose. In this study after cellulose nanocrystal preparation steps, C2-C3 carbons in the glucose ring are selectively broken as a result of sodium periodate oxidation, revealing dialdehyde groups, yielding 2,3-dialdehyde cellulose (Errokh et al., 2018).

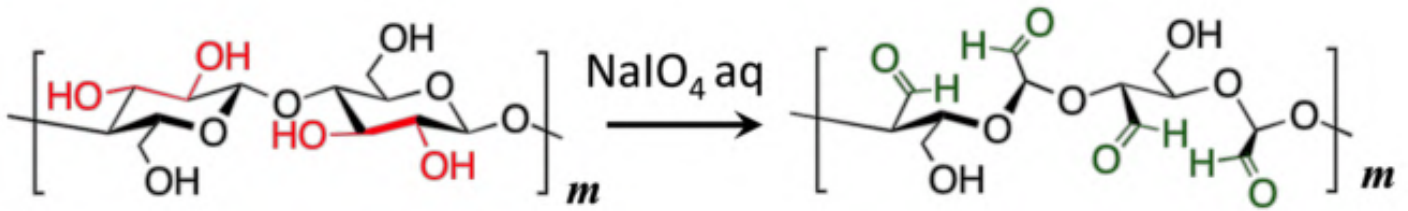


Figure 1. The principle of periodate oxidation of cellulose (Hell et al., 2020).

To obtain the effective oxidation efficiency, oxidation reaction of cellulose nanoparticles was performed at 2-10% periodate concentrations. Synthetically oxidized cellulose is capable of binding of a large amount of gentamicin due to a high density of ligating groups. The most suitable periodate oxidation concentration was found as 4% periodate concentration with 30 min reaction time to prepare gentamicin conjugated cellulose nanocrystals. Gentamicin was attached via imine bonds. Imine bonds are formed through conjugation of the NH<sub>2</sub> groups of gentamicin and the carbonyl groups of the functionalized cellulose nanocrystals. The formation of carbonyl groups through oxidation, functionalizes cellulose. This provides the possible interaction of amine compounds and cellulose and the formation

of a Schiff base (Kim et al., 2000). Many biomedical applications were performed with periodate oxidized cellulose. In a study theophylline was loaded into the functionalized cellulose-chitosan hydrogels (Xu et al., 2019). In another study periodate-oxidized cellulose was modified with polyethyleneimine to prepare cellulose membranes with antibacterial activity (Zhang et al., 2019).

### 3.3. TEM and FTIR analysis

TEM image of cellulose nanocrystals produced from mixed acid hydrolysis process is presented in Fig 2.

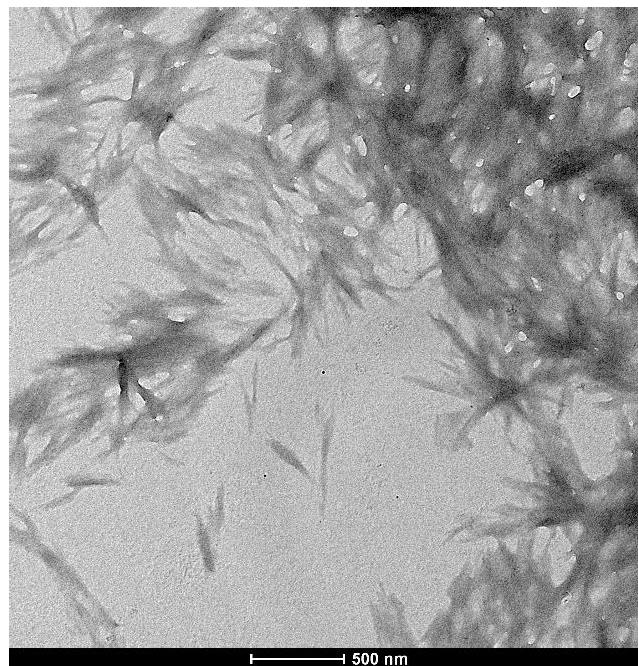


Figure 2. TEM image of cellulose nanocrystals

The TEM image shows that cellulose nanocrystals exhibited a crystalline structure below 500 nm in size. Nano size makes cellulose to possess high surface area. Acid hydrolysis was provided to the isolation of small cellulose nanocrystals in terms of diameter and length. The TEM image confirmed the removal of the amorphous domains (El Achaby et al. 2018b).

FTIR spectra of waste cotton, cellulose nanocrystal and periodate oxidized cellulose nanocrystal samples are shown in Figure 3. FTIR spectroscopy was used to identify the structure of the samples. Figure 3 shows the FTIR spectra of waste cotton, nanocellulose, modified cellulose.

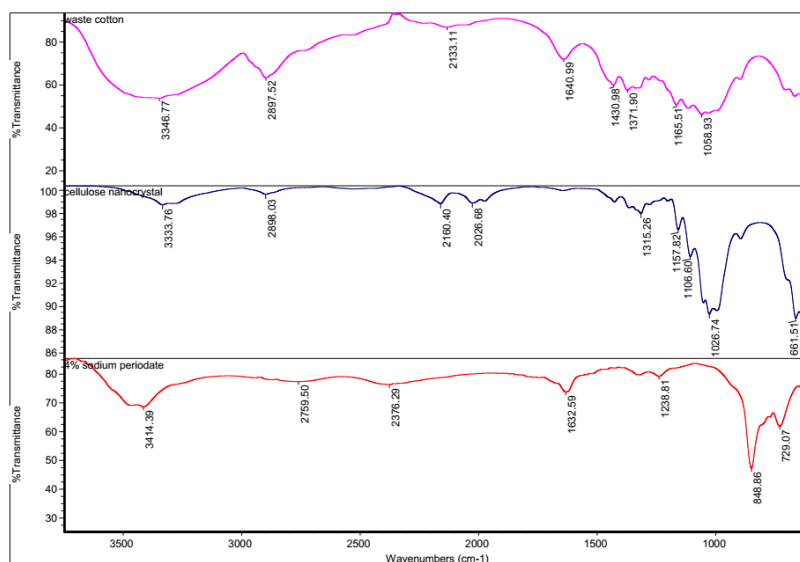


Figure 3. FTIR spectra of waste cotton, cellulose nanocrystal and periodate oxidized cellulose nanocrystal

The FTIR analysis result revealed that the presence of carbonyl group, which is formed by periodate oxidation of two secondary hydroxyl groups in the glucose molecule. When the figure is examined the broad absorption band at  $3414\text{ cm}^{-1}$  is a cellulose absorption peak, because of the O-H stretching (Yu et al., 2013). The absorption peak at  $848\text{ cm}^{-1}$  at oxidized sample is ascribed to the stretching vibrations of the glycosidic C1-H deformation with ring vibration contribution and OH bending, which is characteristic for  $\beta$ -glycosidic bonds (Pietrucha et al., 2015). It was observed that the absorption band at  $1026\text{ cm}^{-1}$  seen in the unoxidized sample completely disappeared in the oxidized sample. This peak is known to because of C-O from C-OH, mainly from carbon three in the anhydroglucose unit (Schwanninger et al. 2004). The newly appeared carbonyl peak at  $1632\text{ cm}^{-1}$  meaning that functionalization of cellulose with sodium periodate oxidation (Nawaz et al., 2020, Coseri et al., 2015, Ahmed et al., 2005).

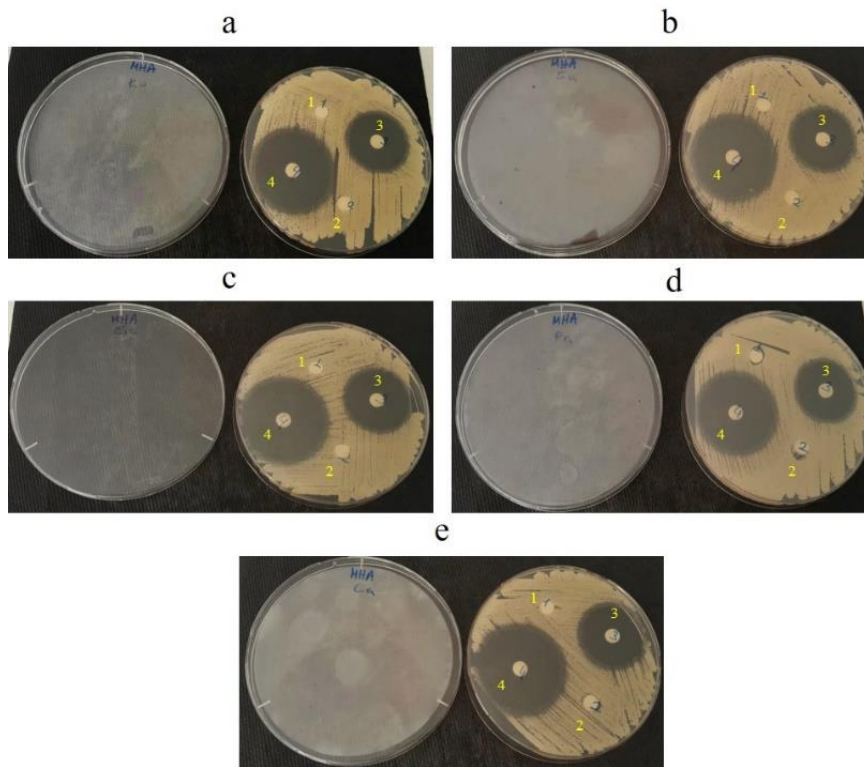
### 3.4. Gentamicin conjugation to the cellulose nanocrystals

Oxidized cellulose has a very good binding ability to drug molecules containing amine groups due to its carbonyl groups. In literature there are some reports about using oxidized cellulose as potential drug delivery devices. In literature there are some studies on using oxidized cellulose for delivery of different kind of drugs. Akhlaghi et al. prepared chitosan chains grafted cellulose nanoparticles as a procaine hydrochloride and imipramine hydrochloride carrier (Akhlaghi et al., 2014). Volkert et al. reported oxidized cellulose drug carrier for benzocaine and prazosin (Volkert et al., 2009). In a study Dox was loaded onto periodate oxidized cellulose nanocrystal via functional groups of Dox which contains  $-\text{NH}_2$  groups and oxidized particles (Kumari et al., 2018).

In this study, gentamicin molecule, which is known to have  $-\text{NH}_2$  groups, was highly efficiently conjugated to cellulose nanoparticles due to the carbonyl groups of oxidized cellulose. Conjugated amount of drug was calculated by the difference between the initial drug amount and the free amount of drug in the supernatant. The result was very satisfactory and showed 98,12% gentamicin was conjugated to the cellulose nanocrystals. Taheri et al prepared Hydroquinone bounded cellulose nanocrystals and they reported as Hydroquinone was bound to the cellulose nanocrystals with 79.3% binding efficiency (Taheri et al., 2015).

### 3.5. Antimicrobial activity effect of gentamicin conjugated cellulose nanocrystal

The antimicrobial activity test was performed on Mueller-Hinton agar using the disk diffusion (DD) method. The bactericidal property of the prepared gentamicin conjugated cellulose nanocrystals were evaluated against gram-negative airway pathogens *P. aeruginosa*, *K. pneumoniae*, *S. aureus* and *E. coli*. Antifungal activity effect of gentamicin conjugated cellulose nanocrystals were also investigated against pathogen fungi *C. albicans*. To determine antibacterial activity, the inhibition zones were measured for all samples. Gentamicin as a positive control was added for comparison. Cellulose nanocrystals without gentamicin conjugation were also evaluated as a control experiment. The photographs of agar plates showing the inhibition zones, were presented in Figure 4.



**Figure 4.** Antimicrobial effect image photographs of different microorganisms Bacteria and fungus; **a)** *K. pneumoniae* **b)** *S. aureus* **c)** *E. coli* **d)** *P. Aeruginosa* **e)** *C. Albicans*  
 Samples; 1:cellulose nanocrystal, 2:oxidized cellulose (4%), 3:gentamicin conjugated cellulose nanocrystal, 4:gentamicin

The results of the zone diameters (mm) are gathered in Table1. The modification with different periodate concentration was numbered from 1-5.

**Table 1.** Inhibition zone diameters of microorganisms at different  $NaIO_4$  concentrations

		Zone Diameter (mm)				
No	$NaIO_4$ % Concentration	<i>E.coli</i>	<i>S. aureus</i>	<i>P. aeruginosa</i>	<i>K.pneumoniae</i>	<i>C. albicans</i>
1	2	20	20	21	21	20
2	4	33	33	34	32	32
3	6	28	27	28	27	26
4	8	29	29	29	29	29
5	10	26	25	26	27	26

The result showed that cellulose nanocrystals without gentamicin conjugation and oxidized cellulose nanocrystals exhibited no antimicrobial effect (Figure 4). The results indicated that gentamicin conjugated cellulose nanocrystals was effective against *E. coli*, *S. aureus*, *P. aeruginosa*, *K. pneumoniae* and *C. albicans*. As it seen from the Table 1 gentamicin conjugated oxidized cellulose crystals exhibited small changes in antimicrobial activity on different microorganisms. Formulation 2(#2) 4% periodate oxidation was found to be most effective in applications. Above this periodate concentrations were not as effective as this concentration. This indicates that cellulose has an oxidation limit. The reason for that may be explained as protection

of neighbouring residues by the formation of internal hemiacetals, as observed with the other polysaccharide (Vold, 2004).

It can be concluded that oxidized cellulose has ability to bind large amount of gentamicin due to carbonyl groups and effective on different kind of microorganisms. In literature there are many reports about using oxidized cellulose as potential drug delivery devices for antimicrobial drugs against *Staphylococcus aureus*, *Methicillin-resistant Staphylococcus aureus*, *Bacillus subtilis*, *Escherichia coli*, and *Salmonella typhimurium* (Ge, et al.2016; Mou et al.,2017; Zhang et al., 2017).



## 4. Conclusions and Recommendations

In recent years, biomaterials obtained from natural materials have found many application areas. In this study, the concept of using mixed acid hydrolysis process (HNO<sub>3</sub>/HCl) to produce cellulose nanocrystals from low cost waste cotton material is presented. In the study, cellulose crystals of desired purity and crystallinity were obtained by using a mixture of nitric acid and hydrochloric acid, which is less corrosive, instead of sulfuric acid. The periodate concentration at which cellulose has a certain oxidation limit was determined, and drug binding studies were continued with this concentration. The carboxyl groups formed as a result of oxidation allowed more gentamicin binding. It is predicted that the preparation of the gentamicin bound cellulose nanocrystals will make a significant contribution to extending the half-life and increasing bioavailability of gentamicin.

The results showed that cellulose nanocrystals were successfully obtained from waste cotton via mixed acid hydrolysis method. The approximate ranges of length and diameter of cellulose nanocrystals extracted from cotton was below 500 nm in size. Gentamicin as a antimicrobial drug was successfully conjugated to the oxidized cellulose nanocrystals (98,12%). The result confirmed that the prepared nanocrystals were effective on all microorganisms. Gentamicin bound cellulose nanocrystals have been observed to be effective against both bacterial and fungal microorganisms. The prepared natural nanocellulose crystals can be used as a safe and promising drug carrier for many drug applications.

## 5. Acknowledge

The authors would like to thank to Dr. Fikret Keven Karademir for microbiology labrotary facilities.

## References

- Ahmed, M. K. K., Rana, A. C., Dixit V.K. (2005) Calotropis species (Asclepiaceae). A comprehensive review, *Pharmacognosy Magazine*, 1(2), 48–52.
- Akhlaghi, S. P., Tiong, D., Berry, R. M., & Tam, K. C. (2014). Comparative release studies of two cationic model drugs from different cellulose nanocrystal derivatives. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*, 88(1), 207–215.
- Balasubramaniam, B., Prateek, Ranjan, S., Saraf, M., Kar, P., Singh, S. P., ... & Gupta, R. K. (2020). Antibacterial and Antiviral Functional Materials: Chemistry and Biological Activity toward Tackling COVID-19-like Pandemics. *ACS Pharmacology & Translational Science*.
- Batul, R., Bhawe, M., J Mahon, P., & Yu, A. (2020). Polydopamine Nanosphere with In-Situ Loaded Gentamicin and Its Antimicrobial Activity. *Molecules*, 25(9), 2090.
- Bauer, A. T. (1966). Antibiotic susceptibility testing by a standardized single disc method. *Am J clin pathol*, 45, 149–158.
- Beganovic, M., Luther, M. K., Rice, L. B., Arias, C. A., Rybak, M. J., & LaPlante, K. L. (2018). A review of combination antimicrobial therapy for Enterococcus faecalis bloodstream infections and infective endocarditis. *Clinical Infectious Diseases*, 67(2), 303–309.
- Chang, C. W., & Takemoto, J. Y. (2014). Antifungal amphiphilic aminoglycosides. *MedChemComm*, 5(8), 1048–1057.
- Chauhan Y. P., Khedkar S. V., Bhagat S. L. & Pardey A. P. (2010). A comparative study of acid hydrolysis of cellulosic waste (Waste of Hosiery Industry) for manufacturing microcrystalline cellulose. *Int. J. Chem. Sci.*, 8(4), 2227–2235.
- Chen, X. Q., Deng, X. Y., Shen, W. H., & Jia, M. Y. (2018). Preparation and characterization of the spherical nanosized cellulose by the enzymatic hydrolysis of pulp fibers. *Carbohydrate polymers*, 181, 879–884.
- Čolić, M., Tomić, S., & Bekić, M. (2020). Immunological aspects of nanocellulose. *Immunology letters*.
- Coseri, S., Biliuta, G., Zemljich, L. F., Srdovic, J. S., Larsson, P. T., Strnad, S., ... & Lindström, T. (2015). One-shot carboxylation of microcrystalline cellulose in the presence of nitroxyl radicals and sodium periodate. *RSC advances*, 5(104), 85889–85897.
- Dacrory, S., Abou-Yousef, H., Kamel, S., Abou-Zeid, R. E., Abdel-Aziz, M. S., & Elbadry, M. (2019). Functionalization and cross-linking of carboxymethyl cellulose in aqueous media. *Cell Chem Technol*, 53(1–2), 11.
- El Achaby, M., El Miri, N., Hannache, H., Gmouh, S., Trabadelo, V., Aboulkas, A., & Youcef, H. B. (2018 a). Cellulose nanocrystals from Miscanthus fibers: insights into rheological, physico-chemical properties and polymer reinforcing ability. *Cellulose*, 25(11), 6603–6619.
- El Achaby, M., Kassab, Z., Aboulkas, A., Gaillard, C., & Barakat, A. (2018 b). Reuse of red algae waste for the production of cellulose nanocrystals and its application in polymer nanocomposites. *International journal of biological macromolecules*, 106, 681–691.
- Errokh, A., Magnin, A., Putaux, J. L., & Boufi, S. (2018). Morphology of the nanocellulose produced by periodate oxidation and reductive treatment of cellulose fibers. *Cellulose*, 25(7), 3899–3911.
- Ge, H., Zhang, L., Xu, M., Cao, J., & Kang, C. (2016, November). Preparation of dialdehyde cellulose and its antibacterial activity. In *International Conference on Applied Biotechnology* (pp. 545–553). Springer, Singapore.
- Hanani, A. N., Zuliahani, A., Nawawi, W. I., Razif, N., & Rozyanty, A. R. (2017, May). The effect of various acids on properties of microcrystalline cellulose (MCC) extracted from rice husk (RH). In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 204, No. 1, p. 012025). IOP Publishing.
- Hell, S., Ohkawa, K., Amer, H., Potthast, A., & Rosenau, T. (2020). A General Protocol for Electrospun Non-Woven Fabrics of Dialdehyde Cellulose and Poly (Vinyl Alcohol). *Nanomaterials*, 10(4), 671.
- Huang, S., Liu, X., Chang, C., & Wang, Y. (2020). Recent developments and prospective food-related applications of cellulose nanocrystals: A review. *Cellulose*, 27(6), 2991–3011.
- Islam, M. S., Chen, L., Sisler, J., & Tam, K. C. (2018). Cellulose nanocrystal (CNC)–inorganic hybrid systems: synthesis, properties and applications. *Journal of Materials Chemistry B*, 6(6), 864–883.
- Kassab, Z., Hannache, H., & El Achaby, M. (2019 ). Isolation of cellulose nanocrystals from various lignocellulosic materials: physico-chemical characterization and application in polymer composites development. *Materials Today: Proceedings*, 13, 964–973.

- Kim, U. J., & Kuga, S. (2000). Reactive interaction of aromatic amines with dialdehyde cellulose gel. *Cellulose*, 7(3), 287-297.
- Kumari, S., Ram, B., Kumar, D., Ranote, S., & Chauhan, G. S. (2018). Nanoparticles of oxidized-cellulose synthesized by green method. *Materials Science for Energy Technologies*, 1(1), 22-28.
- Lin, N., & Dufresne, A. (2014). Nanocellulose in biomedicine: Current status and future prospect. *European Polymer Journal*, 59, 302-325.
- Liu, Y., Wang, H., Yu, G., Yu, Q., Li, B., & Mu, X. (2014). A novel approach for the preparation of nanocrystalline cellulose by using phosphotungstic acid. *Carbohydrate polymers*, 110, 415-422.
- Maia, T. H. S., Larocca, N. M., Beatrice, C. A. G., de Menezes, A. J., de Freitas Siqueira, G., Pessan, L. A., ... & de Almeida Lucas, A. (2017). Polyethylene cellulose nanofibrils nanocomposites. *Carbohydrate polymers*, 173, 50-56.
- Mou, K., Li, J., Wang, Y., Cha, R., & Jiang, X. (2017). 2, 3-Dialdehyde nanofibrillated cellulose as a potential material for the treatment of MRSA infection. *Journal of Materials Chemistry B*, 5(38), 7876-7884.
- Muñoz-Bonilla, A., Echeverria, C., Sonseca, Á., Arrieta, M. P., & Fernández-García, M. (2019). Bio-based polymers with antimicrobial properties towards sustainable development. *Materials*, 12(4), 641.
- Nawaz, A. (2020). Composite of natural bamboo (*Dendrocalamus strictus*) and TiO<sub>2</sub>: Its photocatalytic potential in the degradation of methylene blue under the direct irradiation of solar light. *Research on Chemical Intermediates*, 1-17.
- Pietrucha, K., & Safandowska, M. (2015). Dialdehyde cellulose-crosslinked collagen and its physicochemical properties. *Process Biochemistry*, 50(12), 2105-2111.
- Satyamurthy, P., Jain, P., Balasubramanya, R. H., & Vigneshwaran, N. (2011). Preparation and characterization of cellulose nanowhiskers from cotton fibres by controlled microbial hydrolysis. *Carbohydrate Polymers*, 83(1), 122-129.
- Schwanninger, M., Rodrigues, J. C., Pereira, H., & Hinterstoisser, B. (2004). Effects of short-time vibratory ball milling on the shape of FT-IR spectra of wood and cellulose. *Vibrational Spectroscopy*, 36(1), 23-40.
- Taheri, A., & Mohammadi, M. (2015). The use of cellulose nanocrystals for potential application in topical delivery of hydroquinone. *Chemical biology & drug design*, 86(1), 102-106.
- Tan, X. Y., Abd Hamid, S. B., & Lai, C. W. (2015). Preparation of high crystallinity cellulose nanocrystals (CNCs) by ionic liquid solvolysis. *Biomass and Bioenergy*, 81, 584-591.
- Tomić, S., Ilić, N., Kokol, V., Gruden-Movsesijan, A., Mihajlović, D., Bekić, M., ... & Vučević, D. (2018). Functionalization-dependent effects of cellulose nanofibrils on tolerogenic mechanisms of human dendritic cells. *International journal of nanomedicine*, 13, 6941.
- Trache, D., Donnot, A., Khimeche, K., Benelmir, R., & Brosse, N. (2014). Physico-chemical properties and thermal stability of microcrystalline cellulose isolated from Alfa fibres. *Carbohydrate polymers*, 104, 223-230.
- Vold, I. M. N. (2004). Periodate oxidised chitosans: structure and solution properties.
- Volkert, B., Wolf, B., Fischer, S., Li, N., & Lou, C. (2009, June). Application of modified bead cellulose as a carrier of active ingredients. In *Macromolecular symposia* (Vol. 280, No. 1, pp. 130-135). Weinheim: WILEY-VCH Verlag.
- Wei, H., Rodriguez, K., Rennecker, S., & Vikesland, P. J. (2014). Environmental science and engineering applications of nanocellulose-based nanocomposites. *Environmental Science: Nano*, 1(4), 302-316.
- Xiong, R., Zhang, X., Tian, D., Zhou, Z., & Lu, C. (2012). Comparing microcrystalline with spherical nanocrystalline cellulose from waste cotton fabrics. *Cellulose*, 19(4), 1189-1198.
- Xu, Q., Ji, Y., Sun, Q., Fu, Y., Xu, Y., & Jin, L. (2019). Fabrication of cellulose nanocrystal/chitosan hydrogel for controlled drug release. *Nanomaterials*, 9(2), 253.
- Yu, H., Qin, Z., Liang, B., Liu, N., Zhou, Z., & Chen, L. (2013). Facile extraction of thermally stable cellulose nanocrystals with a high yield of 93% through hydrochloric acid hydrolysis under hydrothermal conditions. *Journal of Materials Chemistry A*, 1(12), 3938-3944.
- Zhang, L., Ge, H., Xu, M., Cao, J., & Dai, Y. (2017). Physicochemical properties, antioxidant and antibacterial activities of dialdehyde microcrystalline cellulose. *Cellulose*, 24(5), 2287-2298.
- Zhang, S., Kai, C., Liu, B., Zhang, S., Wei, W., Xu, X., & Zhou, Z. (2019). Preparation, characterization and antibacterial properties of cellulose membrane containing N-halamine. *Cellulose*, 26(9), 5621-5633.



# Sinüs Kosinüs Algoritması ile Çok Katmanlı Algılayıcı Eğitimi

M. Evren Kıymaç<sup>1\*</sup>, Yasin Kaya<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Adana, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-4008-626X), [evren.kiyamac@icloud.com](mailto:evren.kiyamac@icloud.com)

<sup>2</sup> Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Adana, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-9074-0189), [ykaya@atu.edu.tr](mailto:ykaya@atu.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 12 Eylül 2021 ve Kabul Tarihi 21 Kasım 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.994406)

**ATIF/REFERENCE:** Kıymaç, M. E. ve Kaya, Y. (2021). Sinüs kosinüs algoritması ile çok katmanlı algılayıcı eğitimi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (27), 1113-1117.

## Öz

Yapay sinir ağlarının (YSA) eğitilmeleri açısından, meta-sezgisel yöntemlerin geleneksel, eğitim tabanlı yöntemlere göre üstünlükleri, bilimsel yazındaki çok sayıda çalışma ile gösterilmiştir. Bu çalışmanın amacı, bir YSA türü olan Çok Katmanlı Algılayıcı (ÇKA) eğitimindeki başarımlar açısından, bir meta-sezgisel en iyileştirme yöntemi olan Sinüs Kosinüs Algoritması (SKA) ile iki başka yöntemin (parçacık sürü en iyileştirme (PSEİ) ve yaras algoritması (YA)) karşılaştırılmasıdır. Bütün yöntemlerin, Kaliforniya Üniversitesi, Irvine, Yapay Öğrenme Kaynağı üzerinden alınan beş hastalık ile ilgili veri kümesinde (göğüs kanseri, diyabet, karaciğer, omurga ve parkinson) ikili sınıflandırmadaki başarımlar değerlendirilmiştir. Deney sonuçlarında, SKA ile eğitilen ÇKA'lar %97'ye varan yüksek doğruluk oranlarına ulaşmıştır. Yöntem, YA'dan büyük çoğunlukla daha yüksek, PSEİ'den büyük çoğunlukla daha düşük başarımlar göstermiştir. PSEİ yöntemi genel olarak daha yüksek başarımlar gösterse de, SKA yöntemi de bir veri kümesinde en yüksek, kalan veri kümelerinin biri dışında hepsinde ikinci en yüksek eğitim başarımlarını göstermiştir. İncelenen yöntem arama uzaylarında, hem yüksek keşfetme ve yerel en iyiden kaçınma, hem de amaçlanan değerlere yüksek yakınsama hızları göstermektedir. Bu sonuçlar, SKA'nın ÇKA eğitiminde yetkin ve etkili olabildiğini ortaya koymaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Yapay Sinir Ağları, Çok Katmanlı Algılayıcı, Meta-sezgisel Yöntemler, Sinüs Kosinüs Algoritması.

## Multilayer Perceptron Training with Sine Cosine Algorithm

### Abstract

The superiority of metaheuristic methods over conventional, gradient-based methods, in terms of training artificial neural networks (ANN), has been shown with numerous studies in the literature. The aim of this study is to compare the Sine Cosine Algorithm (SCA), which is a metaheuristic optimization method, with two other methods (particle swarm optimization (PSO) and bat algorithm (BA)) in terms of the performance in Multilayer Perceptron (MLP) training, which is a type of ANN. Performance evaluations of all methods on binary classification were made on five datasets which are related with diseases (breast cancer, diabetes, liver disorders, vertebral column, and parkinsons) obtained from the University of California, Irvine, Machine Learning Repository. In the results of the experiments, the MLPs which were trained with the SCA have achieved high accuracy rates up to 97%. The method performed mostly higher than the BA and mostly lower than the PSO. Although the PSO method showed higher success in general, the SCA method also showed the highest training performance in one dataset and the second highest in all but one of the remaining datasets. In the search spaces, the investigated method shows both high exploration and avoidance of local optimum, as well as high convergence rates to the aimed values. These results reveal that, the SCA can be competent and effective at training the MLP.

**Keywords:** Artificial Neural Networks, Multilayer Perceptron, Metaheuristic Methods, Sine Cosine Algorithm.

\* Sorumlu Yazar: [evren.kiyamac@icloud.com](mailto:evren.kiyamac@icloud.com)

## 1. Giriş

Yapay sinir ağları (YSA), yapay öğrenme alanındaki en önemli buluşlardan biridir. Bu yöntemde, insan beynindeki sinir hücrelerinin uyarı iletimi sırasındaki işleyişlerinden ve bilgi oluşumu için düzenlenişlerinden esinlenilerek oluşturulan matematiksel yapılar kullanılmaktadır. İlk örnekleri 1940'larda uygulanmıştır (McCulloch ve Pitts, 1943).

Bilimsel yazında, yöntemin birtakım türleri önerilmiştir: İleri beslemeli sinir ağları (Bebis ve Georgiopoulos, 1994), yineleyen sinir ağları, vd. İleri beslemeli sinir ağlarında, giriş katmanından çıkış katmanına doğru ilerleyen tek yönlü bir dizi veri iletimi vardır. Yineleyen sinir ağlarında ise, katmanlar arasında ileri ve geri olarak iki yönlü veri paylaşımı gerçekleşir.

YSA'ların, işleyişlerindeki ayrılıklara karşın, ortak özellikleri öğrenme yetenekleridir. Öğrenme, deneyimlerden bilgi çıkarımı yapabilmeleri anlamındadır. Doğal sinir ağlarına benzer biçimde, YSA'ların kendilerine verilen girdi veri kümesine kendilerini uyarlayan bir işleyişleri bulunmaktadır.

Bir YSA'nın öğrenmesini gerçekleştiren yöntem, bir *eğitici* olarak adlandırılır. Eğitici, YSA'nın daha önce görmediği girdi veri kümeleri karşısında en yüksek başarıyı elde edecek biçimde eğitilmesinden sorumludur. Bir gözetimli öğrenme yöntemi olarak, eğitici önce YSA'ya eğitim örneklerini verir. Sonra, her eğitim adımında YSA'nın başarılarını geliştirmek için yapısal parametrelerini değiştirir. Eğitim aşaması tamamlandıktan sonra, eğitici devreden çıkar ve YSA kullanıma hazır olur.

Bilimsel yazındaki öğrenme yöntemleri, belirlenimci (deterministik) ve rastlanımcı (stokastik) olmak üzere iki türde bulunmaktadır. Geri yayılım ve eğitim tabanlı yöntemler belirlenimci olarak değerlendirilir. Bu türden yöntemlerde, eğitim örnekleri değişmedikçe, ayrı eğitim denemeleri özdeş başarımla sonuçlanır. Buna karşın, rastlanımcı yöntemlerde, özdeş eğitim örnekleri ile yapılan ayrı eğitim denemeleri az çok değişken başarımlarla sonuçlanır (Ozkaya ve Seyfi, 2018).

Belirlenimci yöntemlerin üstünlükleri, yalınlık ve hızdır. Ancak, başlangıç çözümlerine bağımlı bir başarımla elde edilir ve yerel en iyi değerlere takılıp genel en iyi değeri kaçırma olasılıkları daha yüksektir. Oysa rastlanımcı yöntemlerde, başlangıç çözümlerinin seçilmesi ve eğitim süreci rastsal olarak gerçekleştiğinden, yerel en iyi değerlerden kaçınarak genel en iyi değere yaklaşma olasılıkları daha yüksektir.

## 2. Gereç ve Yöntem

Bu çalışmada, Çok Katmanlı Algılayıcı (ÇKA) eğitimindeki başarımla açısından, bir rastlanımcı öğrenme ve meta-sezgisel en iyileştirme yöntemi olan Sinüs Kosinüs Algoritması (SKA) (Mirjalili, 2016) ile iki başka meta-sezgisel en iyileştirme yönteminin karşılaştırılması amaçlanmıştır.

### 2.1. Gereç

Bütün yöntemlerin, Kaliforniya Üniversitesi, Irvine, Yapay Öğrenme Kaynağı (University of California, Irvine, Machine Learning Repository, 2021) üzerinden alınan beş hastalıkla ilgili veri kümesinde, ikili sınıflandırmadaki başarımla değerlendirmeleri yapılmıştır. Sınıflandırılan veri kümelerinde, örneklerin değerlerine en düşük - en yüksek normalleştirilmesi uygulanmış ve örnekler %66 eğitim %34 sınıflama alt kümelerine ayrılmıştır.

Sınıflandırılan veri kümeleri ile öznelik ve örnek sayıları Tablo 1'de verilmiştir:

Tablo 1. Sınıflandırılan veri kümeleri

Veri kümesi	Öznelik sayısı	Örnek sayısı
Göğüs Kanseri ( <i>Breast Cancer</i> )	8	599
Diyabet ( <i>Diabetes</i> )	8	768
Karaciğer ( <i>Liver Disorders</i> )	6	345
Omurga ( <i>Vertebral Column</i> )	6	310
Parkinson ( <i>Parkinsons</i> )	22	195

Deneyler için, dört çekirdekli 3.2 GHz işlemci ve 8 GB bellekli bir bilgisayarda, Python dilinde yazılmış açık kaynaklı bir çerçeve (Faris vd., 2020; Faris vd., 2016) kullanılmıştır.

### 2.2. Yöntem

Her veri kümesi için 10 deney gerçekleştirilmiş; alınan sonuçların ortalaması alınarak değerlendirme yapılmıştır. Deneylerde, topluluk büyüklükleri 50, yineleme sayıları 250 olarak seçilmiştir. Kullanılan eğitici yöntemler ile başlangıç değerleri Tablo 2'de verilmiştir:

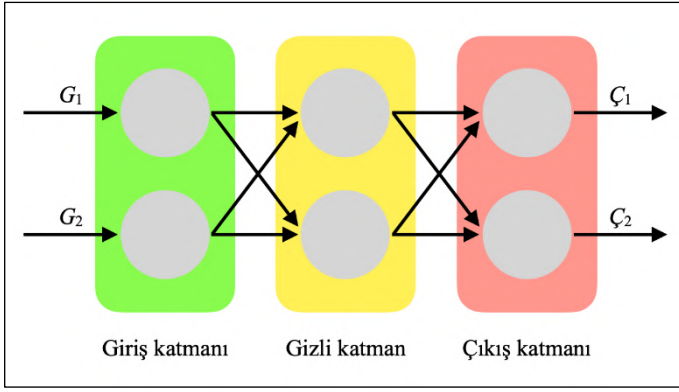
Tablo 2. Kullanılan eğitici yöntemler

Yöntem	Başlangıç değeri
Sinüs Kosinüs Algoritması ( <i>Sine Cosine Algorithm</i> )	$a$ değişmezi: 2
Parçacık Sürü En İyileştirmesi (PSEİ) ( <i>Particle Swarm Optimization</i> ) (Kennedy ve Eberhart, 1995)	ivme değişmezleri: [2.1, 2.1] eylemsizlik ağırlıkları: [0.9, 0.6]
Yarasa Algoritması (YA) ( <i>Bat Algorithm</i> ) (Yang, 2010)	ses yüksekliği: 0.5 titreşim oranı: 0.5 en düşük titreşim sıklığı: 0 en yüksek titreşim sıklığı: 1

#### 2.2.1. Çok Katmanlı Algılayıcı

İleri beslemeli sinir ağları, veri iletiminin tek ve ileri yönlü gerçekleştiği sinir ağlarıdır. Bu ağlarda, düğümler sıralı katmanlar biçiminde düzenlenir (Bebis ve Georgiopoulos, 1994). İlk katman *giriş katmanı*, son katman ise *çıkış katmanı* olarak adlandırılır. Bu iki katmanın arasındaki katmanlara *gizli katman* denir. Bu yapıda, bir katmandaki her bir düğüm sonraki katmandaki her bir düğüm ile bağlantılıdır.

Yalnızca bir gizli katmanı bulunan ileri beslemeli sinir ağları, *çok katmanlı algılayıcı* olarak tanımlanır. Şekil 1'de, her katmanında ikişer düğüm bulunan bir ÇKA örneği verilmiştir:



Şekil 1. Bir gizli katmanı bulunan ÇKA

Bir ÇKA için, girdi verileri ile düğümler arası ağırlık ve eşik değerleri sağlandıktan sonra, çıktı verileri aşağıdaki denklemler (1)–(4) ile elde edilir:

1. Girdilerin ağırlıklı toplamları alınıp etkinleştirme işlevinden geçirilerek, gizli katmandaki çıktılar ( $H_j$ ) bulunur:

$$h_j = \sum_i (G_i \cdot A_{ij}) - E_j \quad (1)$$

$$H_j = \text{sigmoid}(h_j) = \frac{1}{1 + \exp(-h_j)} \quad (2)$$

$G_i$ , giriş katmanındaki  $i$ . düğümün değerini;  $A_{ij}$ , giriş katmanındaki  $i$ . düğümünden, gizli katmandaki  $j$ . düğüme ağırlık değerini;  $E_j$ , gizli katmandaki  $j$ . düğümün eşik değerini gösterir.

2. Gizli katmandaki düğümlerin çıktılarına benzer işlemler uygulanarak, sistem çıktıları ( $\zeta_k$ ) bulunur:

$$\zeta_k = \sum_j (H_j \cdot A_{jk}) - E_k \quad (3)$$

$$\zeta_k = \text{sigmoid}(\zeta_k) = \frac{1}{1 + \exp(-\zeta_k)} \quad (4)$$

$H_j$ , gizli katmandaki  $j$ . düğümün çıktısını;  $A_{jk}$ , gizli katmandaki  $j$ . düğümünden, çıkış katmanındaki  $k$ . düğüme ağırlık değerini;  $E_k$ , çıkış katmanındaki  $k$ . düğümün eşik değerini gösterir.

Bir ÇKA'nın eğitilmesi işlemi, yukarıdaki denklemlerden de anlaşılacağı üzere, girdiler ve çıktılar arasında istenen ilişkiyi elde etmek için, en uygun ağırlık ve eşik değerlerinin bulunmasıdır (Mirjalili, 2015). Bu çalışmada, gizli katmandaki düğüm sayısı, veri kümelerindeki öznitelik sayısının iki katının bir fazlası ( $2 \times [\text{öznitelik sayısı}] + 1$ ) olarak belirlenmiştir.

### 2.2.2. Sinüs Kosinüs Algoritması

SKA, topluluk tabanlı bir meta-sezgisel en iyileştirme algoritmasıdır ve 2016 yılında önerilmiştir.

Bu yöntemde, bir rastgele aday çözümler kümesi oluşturulması ile başlanır ve bu aday çözümler üzerinde, sonlandırma ölçütleri karşılanana kadar, yinelemeli olarak iyileştirmeler gerçekleştirilir. Yöntemin sözde kodu, aşağıda verilen Şekil 2'deki gibidir:

Bir rastgele çözümler kümesi oluştur

Sonlandırma ölçütleri sağlanmadıkça:

Her çözüm için:

Amaç işlevi ile çözümü değerlendir

Eğer çözüm hedef çözümden daha iyiyse

Hedef çözümü güncelle

$r_1, r_2, r_3, r_4$  rastgele değişkenlerini güncelle

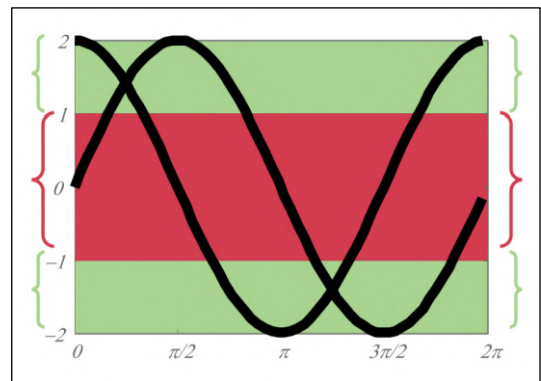
Çözümü denklem (5)'e göre güncelle

Şekil 2. SKA'nın sözde kodu

Yeni aday çözümleri arama işlemi, aşağıda verilen denklem (5) ile gerçekleştirilir:

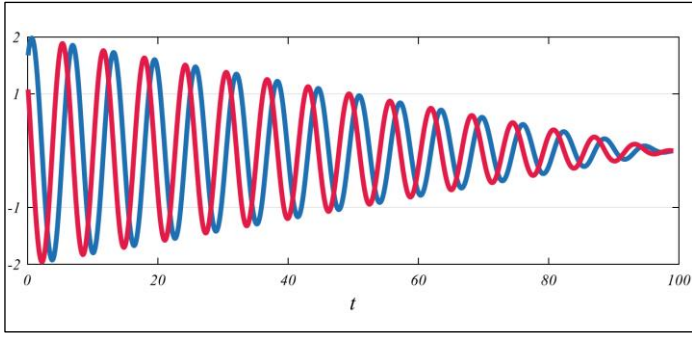
$$A_i^{t+1} = \begin{cases} A_i^t + r_1 \sin(r_2) |r_3 H_i^t - A_i^t| & r_4 < 0.5 \\ A_i^t + r_1 \cos(r_2) |r_3 H_i^t - A_i^t| & r_4 \geq 0.5 \end{cases} \quad (5)$$

$A_i^t$ ,  $t$ . yinelemedeki  $i$ . aday çözümü;  $H_i^t$ ,  $t$ . yinelemedeki  $i$ . hedef çözümü gösterir.  $r_1$ , sinüs ve kosinüs işlevlerinin aralık büyüklüklerini;  $r_2$ , hedefe yaklaşan veya hedeften uzaklaşan bir adımı belirleyen, sinüs ve kosinüs işlevlerinin etki alanlarını (bk. Şekil 3) belirtir.  $r_3$ , hedef çözümü yeni çözümü belirlenmesindeki katkı oranını;  $r_4$ , sinüs ve kosinüs işlevleri arasındaki eşit olasılıklı geçişi belirler.



Şekil 3. Sinüs ve Kosinüs işlevlerinin etki alanlarının gösterimi (Mirjalili vd., 2020)

$r_1$  değişkeni, yöntemin keşfetmesini azaltmak ve bir noktaya yakınsamasını sağlamak için, doğrusal olarak,  $r_1 = a(1 - t/T)$  denklemine göre azalır (bk. Şekil 4).  $a$ , bir değişmez sayıyı;  $t$ , şimdiki yineleme sayısını;  $T$ , toplam yineleme sayısını gösterir.  $r_2$   $[0, 2\pi]$  aralığında,  $r_3$   $[0, 2]$  aralığında ve  $r_4$  ise  $[0, 1]$  aralığında birer rastgele sayıdır.



Şekil 4. Azalan  $r_1$  değişkeninin, Sinüs ve Kosinüs işlevlerinin aralık büyüklüklerine etkisi (Mirjalili vd., 2020)

### 3. Bulgular ve Tartışma

#### 3.1. Bulgular

Karşılaştırılan bütün yöntemler ile veri kümeleri üzerinde gerçekleştirilen deneylerin sonuçlarına göre, yöntemlerin eğittikleri ÇKA'ların ortalama sınıflandırma doğruluk oranları, her veri kümesi için en yüksek değer kalın yazıyla gösterilerek, Tablo 3'te verilmiştir.

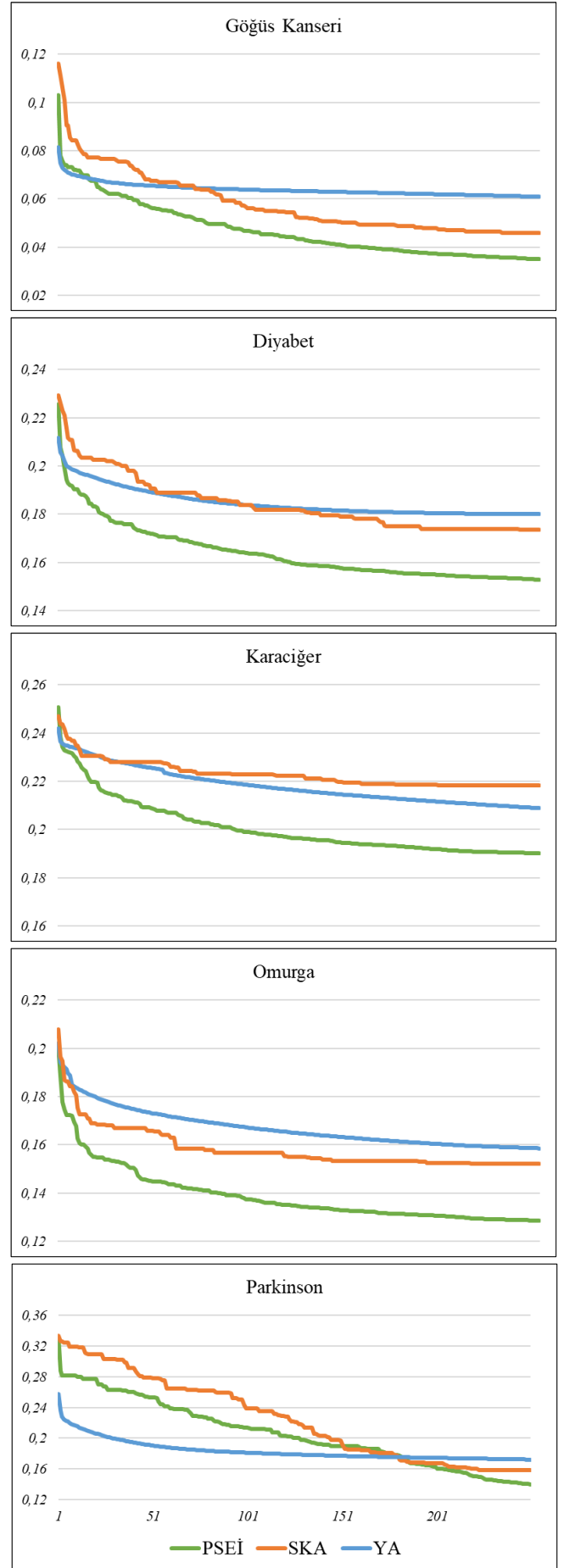
Buna göre, Parçacık Sürü En İyileştirmesi (PSEİ) yöntemi, beş veri kümesinin dördünde en yüksek doğruluk oranını, kalan bir veri kümesinde (Parkinson) ise ikinci en yüksek doğruluk oranını vermiştir.

Sinüs Kosinüs Algoritması (SKA) yöntemi ise, bir veri kümesinde (Parkinson) en yüksek, bir veri kümesinde (Karaciğer) en düşük, kalan üç veri kümesinde ise ikinci en yüksek doğruluk oranını vermiştir.

Son olarak, Yarasa Algoritması (YA) yöntemi, bir veri kümesinde (Karaciğer) ikinci en yüksek, kalan dört veri kümesinde en düşük başarıyı sergileyerek, tüm yöntemler arasında genel olarak son sırada yer almıştır.

Tablo 3. Yöntemlerin ortalama sınıflandırma doğruluk oranları

Yöntem	Veri kümesi				
	Göğüs Kanseri	Diyabet	Karaciğer	Omurga	Parkinson
PSEİ	<b>0.9748</b>	<b>0.7511</b>	<b>0.7542</b>	<b>0.8774</b>	0.7642
SKA	0.9693	0.7168	0.6737	0.7991	<b>0.7776</b>
YA	0.7870	0.4669	0.6780	0.7208	0.6716



Şekil 5. Yöntemlerin ortalama yakınsama grafikleri (eksenler: yineleme sayısı, ortalama kare hata)

### 3.2. Tartışma

Bu çalışmada elde edilen bulgulara göre, sınıflandırma doğruluk oranı açısından karşılaştırılan üç meta-sezgisel en iyileştirme algoritması arasında, incelemenin odağındaki SKA yönteminin, ÇKA eğitimi için önemli oranda başarılı olabildiği gözlenmiştir.

YA yöntemi ile karşılaştırıldığında, neredeyse incelenen her veri kümesinde büyük ölçüde daha yüksek başarımlar elde etmiştir. YA, sürü tabanlı yöntemler sınıfında bulunmaktadır ve bu sınıftaki yöntemlerin işleyişlerinde, evrimsel yöntemlerin tersine, belirgin olarak anlık ve büyük adımlarla arama uzayında gezinme davranışı bulunmamaktadır. Bu özellikleri, bulgulardaki başarımların düşüklüğünün gerekçesi olarak düşünülebilir. PSEİ yöntemi ise, neredeyse incelenen her veri kümesinde kalan iki yöntemden daha başarılı olmuştur. Bu tutarlılık, yöntemin yüksek etkinliğini ortaya koymaktadır.

Elde edilen bulguların ışığında, incelemenin odağındaki SKA yönteminin amaçlanan değerlere yakınsama hızının da oldukça yüksek olduğu ve sınıflandırma doğruluk oranı ile benzer bir karşılaştırma durumu içerisinde bulunduğu görülmektedir (bk. Şekil 5). Yöntemin, bilimsel yazında tanınır ve geçerli iki başka en iyileştirme yöntemi ile karşılaştırılmasının ortaya koyduğu üzere, başarı beklentisinin kayda değer derecede yüksek olduğu aşığı çıkmaktadır.

### 4. Sonuç

YSA'ların eğitilmeleri açısından, meta-sezgisel yöntemlerin geleneksel, eğitim tabanlı yöntemlere göre üstünlükleri, bilimsel yazındaki çok sayıda çalışma ile gösterilmiştir. Bu çalışmada, ÇKA'nın ikili sınıflandırma eğitimindeki başarımları açısından, SKA yöntemi ile iki başka meta-sezgisel en iyileştirme yöntemi (PSEİ ve YA) için bir karşılaştırma gerçekleştirilmiştir. Karşılaştırma için, Kaliforniya Üniversitesi, Irvine, Yapay Öğrenme Kaynağı üzerinden alınan, beş hastalık ile ilgili veri kümeleri kullanılmıştır.

PSEİ yöntemi genel olarak daha yüksek başarımlar gösterse de, SKA yöntemi de bir veri kümesinde en yüksek, kalan veri kümelerinin biri dışında hepsinde ikinci en yüksek eğitim başarımlarını göstermiştir. İncelenen yöntem arama uzaylarında, hem yüksek keşfetme ve yerel en iyiden kaçınma, hem de amaçlanan değerlere yüksek yakınsama hızları göstermektedir. Bu sonuçlar, SKA yönteminin ÇKA eğitimi açısından önemli derecede yetkin ve etkili olabildiğini ortaya koymaktadır.

Ayrıca, gelecek çalışmalarda, gizli katman düğüm sayısının en uygun değerinin saptanmasında ve ÇKA'dan başka yapıdaki YSA'lar üzerinde de bu yöntemin katkısının incelenmesi oldukça yararlı olacaktır.

### Kaynakça

- Bebis, G. ve Georgiopoulos, M. (1994). Feed-forward neural networks. *IEEE Potentials*, 13(4), 27–31. <https://doi.org/10.1109/45.329294>
- Faris, H., Aljarah, I. ve Fouad, M. M. (2020). *EvoPy-NN*. GitHub. <https://github.com/7ossam81/EvoPy-NN/>
- Faris, H., Aljarah, I., Mirjalili, S., Castillo, P. A. ve Merelo, J. J. (2016). EvoPy: An open-source nature-inspired optimization framework in Python. *Proceedings of the 8th*

*International Joint Conference on Computational Intelligence - IJCCI 2016*, 1, 171–177. <https://doi.org/10.5220/0006048201710177>

Kennedy, J. ve Eberhart, R. (1995). Particle swarm optimization. *Proceedings of the International Conference on Neural Networks - ICNN 1995*, 4, 1942–1948. <https://doi.org/10.1109/ICNN.1995.488968>

McCulloch, W. S. ve Pitts, W. (1943). A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. *The Bulletin of Mathematical Biophysics* 1943, 5(4), 115–133. <https://doi.org/10.1007/BF02478259>

Mirjalili, S. (2015). How effective is the grey wolf optimizer in training multi-layer perceptrons. *Applied Intelligence*, 43(1), 150–161. <https://doi.org/10.1007/s10489-014-0645-7>

Mirjalili, S. (2016). SCA: A sine cosine algorithm for solving optimization problems. *Knowledge-Based Systems*, 96, 120–133. <https://doi.org/10.1016/j.knsys.2015.12.022>

Mirjalili, S. M., Mirjalili, S. Z., Saremi, S. ve Mirjalili, S. (2020). Sine cosine algorithm: Theory, literature review, and application in designing bend photonic crystal waveguides. *Studies in Computational Intelligence*, 811, 201–217. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-12127-3\\_12](https://doi.org/10.1007/978-3-030-12127-3_12)

Ozkaya, U. ve Seyfi, L. (2018). A comparative study on parameters of leaf-shaped patch antenna using hybrid artificial intelligence network models. *Neural Computing and Applications*, 29(8), 35–45. <https://doi.org/10.1007/s00521-016-2620-1>

University of California, Irvine, Machine Learning Repository (2021). *Data Sets*. <http://archive.ics.uci.edu/ml/datasets.php>

Yang, X.-S. (2010). A new metaheuristic bat-inspired algorithm. *Studies in Computational Intelligence*, 284, 65–74. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-12538-6\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-642-12538-6_6)



## Tıbbi ve Aromatik Bitkiler Vadisi Tasarımı: Şanlıurfa Örneği

Hülya Öztürk Tel<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> Harran Üniversitesi, Şanlıurfa Teknik Bilimler MYO.Mimari Restorasyon Bölümü, Şanlıurfa, Türkiye (ORCID: 0000-0001-9277-9119), hulyaozturktel@gmail.com

(İlk Geliş Tarihi 9 Eylül 2021 ve Kabul Tarihi 23 Kasım 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.993481)

**ATIF/REFERENCE:** Hülya Öztürk Tel. (2021). Tıbbi ve Aromatik Bitkiler Vadisi Tasarımı: Şanlıurfa Örneği. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (27), 1118-1131.

### Öz

Günümüzde kentsel açık ve yeşil alanlar, doğa ile yakınlaşma imkanının en fazla olduğu alanlardır. Tıbbi aromatik bitki bahçeleri; araştırma, bitki çeşitliliğini koruma, rekreasyon ve eğitim alanlarında faaliyet gösteren mekanlardır. Çalışmada, Şanlıurfa kenti için Harran Üniversitesi Şair Nabi Yerleşkesi'ne hem üniversitenin hemde halkın kullanımına sunulabilecek, "Tıbbi ve Aromatik Bitki Vadisi" peyzaj tasarımı önerisi geliştirilmiştir. Alanın mevcut kullanım durumu, çevre analizleri ile belirlenmiş, alana ilişkin avantaj ve dezavantajları saptanarak, kullanıcı ihtiyaçları ve tasarım süreci ortaya konulmuştur.

Bu çalışmanın amacı; Şanlıurfa kenti için sürdürülebilir, bütüncül bir peyzaj tasarımıyla doğal çevre ile insanların yakınlaşmasını sağlayarak, tıbbi aromatik bitkiler konusunda farkındalık yaratmaktır. Bu amaç kapsamında; gözlem, arazi çalışmaları, leke planı, tasarım yaklaşımı ve ön tasarım, kesin tasarım ve bitkilendirme tasarımı aşamalardan oluşan bir dizi çalışma gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, çalışmanın uygulanması ile Şanlıurfa kenti ve GAP ölçeğinde önemli bir açık ve yeşil alanın oluşumuna katkı sağlanarak, biyolojik çeşitlilik korunacaktır.

**Anahtar Kelimeler:** Tıbbi Aromatik Bitki, Tıbbi Aromatik Bitki Bahçesi, Peyzaj Tasarım Projesi, Üniversite Yerleşkesi, Terapi Bahçesi

## Design of the Valley of Medicinal and Aromatic Plants: The Case of Şanlıurfa

### Abstract

Today, urban open and green spaces are the areas where the opportunity to get closer to nature is the most. Medicinal and aromatic herb gardens; are places operating in the fields of research, plant diversity protection, recreation and education. In the study, a landscape design proposal for the city of Şanlıurfa, "Medical and Aromatic Plant Valley", which can be presented to the use of both the university and the public, has been developed for Harran University Şair Nabi Campus. The current use of the area has been determined by environmental analysis, the advantages and disadvantages of the area have been determined, and the user needs and design process have been revealed.

The aim of this study; To create awareness about medicinal and aromatic plants by bringing people closer to the natural environment with a sustainable and holistic landscape design for the city of Şanlıurfa. Within the scope of this purpose; A series of studies consisting of observation, field studies, spot plan, design approach and preliminary design, final design and planting design were carried out. As a result, with the implementation of the study, biodiversity will be protected by contributing to the formation of an important open and green area in Şanlıurfa city and GAP scale.

**Keywords:** Medicinal Aromatic Plant, Medicinal Aromatic Plant Garden, Landscape Design Project, University Campus, Therapy Garden.

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



## 1. Giriş

İnsan nüfusunun kent merkezlerinde yoğunluk kazanması ile açık yeşil alanlar azalmakta, insanların doğaya özlemleri daha da artmaktadır. Bu nedenle kent içinde ve sınırında tasarlanan açık yeşil alanların çoğaltılması ve korunması gittikçe önem kazanmakta olup, bu alanlar insanlara bir çok aktivite sunmaktadır (Fuller, vd., 2007; Gülgün, vd., 2014). Kentlerde önemli açık yeşil alanlarından biri de tıbbi ve aromatik bitki bahçeleridir. Tıbbi ve aromatik bitki bahçeleri; çok çeşitli tıbbi ve aromatik bitki türlerinin bir araya getirildiği açık hava müzesi, eğitim ve rekreasyon alanı niteliği taşımaktadır.

Tıbbi ve aromatik bitki bahçelerinin amacı; tıbbi ve aromatik bitkileri araştırmak, üretmek, kültüre alınmasını sağlayarak, biyoçeşitliliği geliştirmek, halkın tıbbi ve aromatik bitkileri tanımalarını sağlamak ve faydalarının bilinmesi sağlamak, rekreasyon alanı oluşturmak, floradan faydalanma konusunda katkı sağlamaktır.

Tıbbi aromatik bitkilerin kullanımı çok eski olup, antik dönemden günümüze kadar bir çok kullanım alanına sahip olmuştur. Özellikle insanlar eski dönemlerden beri tıbbi aromatik bitkilerin kullanımına önem vererek tedavi amaçlı, sağlıklı yaşayabilmek, hastalıkları önlemek veya iyileştirmek için ondan yararlanmıştır (Pouya ve Demir, 2017). Tıp biliminin gelişmesi ile şifa bulma amacı ile kullanılan ilaçların hammaddesi tıbbi ve aromatik bitkiler olmuş, bu bitkilerin önemi giderek artarak, büyük bir pazar haline dönüşmüştür (Baytop, 1999).

Bitkiler doğrudan şifa veren ilaçların hammaddesi olarak kullanılıyorsa tıbbi bitki; koku ve tat katacak madde olarak kullanılıyorsa aromatik bitki; hem tıbbi olarak hastalıkları tedavi etmekte, hem de diğer alanlarda kullanılıyor ise tıbbi ve aromatik bitki olarak kabul görmektedir (Anonim, 2021a). Dünya Sağlık Örgütü ve Birleşmiş Milletler'e göre hastalıklara karşı direnç ve tedavi edici özelliği olan ve insanların sağlıklı olmasını sağlayan bitkiler tıbbi aromatik bitkiler olarak tanımlanmıştır (Oran, 2015; Marshall, 2011; Ersöz, 2012; Kırıcı, 2015).

Bu bitkilerin kök, gövde, yumru, sap, kabuk, yaprak, çiçek, meyve ve tohumları kullanılarak hazırlanan çay, baharat, aromatik su, çeşni olarak beslenmede; uçucu yağ, pomat, macun, parfüm, krem olarak kozmetikte, tedavi eden ilaçların hammaddesi olarak sağlıkta kullanılmaktadır (Faydaoğlu ve Sürücüoğlu, 2011; Erbaş, 2013; Arslan, vd., 2015; Dönmez vd., 2016; Pouya ve Demir, 2017; Temel, vd., 2018; Kösa ve Güral 2019).

2000'li yıllarda çok sayıda yeni tıbbi ve aromatik bitki türlerinin yetiştirilmesi, kültüre alınması ve üretilmesi, ticaretin küreselleşmesi ile günümüzde ihracatı artmıştır (Khan, vd., 2005),

Türkiye, sahip olduğu ekolojik koşullar nedeniyle, bitki türleri açısından zengin florası ile çok çeşitli tıbbi ve aromatik bitki türlerine sahiptir. Türkiye florasında 9000'in üzerinde bitki türü bulunup, bunun yaklaşık 1000 tanesi tıbbi ve aromatik kökenli bitkilerdir. Özellikle Güneydoğu Anadolu Bölgesi tıbbi ve aromatik bitkilerin gen merkezi konumundadır. Ancak tıbbi aromatik bitki zenginliği verimli şekilde kullanılmamaktadır (Oran, 2015; Faydaoğlu ve Sürücüoğlu, 2011; Anonim, 2021a; Anonim, 2021b).

İnsanlar, bitkileri önceleri beslenme ve sağlık gibi temel ihtiyaçlarını gidermek amacıyla kullanmışlar ancak zamanla görsel ve estetik duygulara hitap ettiklerinden yetiştirerek "Tıbbi e-ISSN: 2148-2683

ve aromatik bitki bahçesi" olarak da adlandırılan bahçeler oluşmuştur (Gülgün, vd., 2009). Bu bitkiler süs bitkisi olarak çiçek güzellikleri ile peyzaj tasarımlarında alternatif bitki olarak değerlendirilmektedir (Dönmez, vd., 2016; Pouya ve Demir, 2017; Kösa ve Güral, 2019). Tıbbi bitkiler bahçeleri, Ortaçağ Avrupa'sında dualara eşlik etme, ruhani etkileri ve iyileştirici etkilerinden dolayı manastır bahçelerinde yaygın bir şekilde kullanılmıştır (Leszczynski, 1997; Arslan, 2010; Serez, 2011).

Tıbbi ve aromatik bitkiler; peyzaj tasarımlarında formları, renkleri ve dokuları ile duyularını harekete geçirmekte, kokuları koku duygusunu, tatları tat duygusunu teşvik etmektedir. Tıbbi aromatik bitki bahçelerinde sergileme yapılarak, türler keşfedilebilmekte ve bilimsel araştırmalar için laboratuvar niteliği taşımaktadırlar (Kösa ve Güral, 2019; Surat, 2020 )

Tıbbi ve aromatik bitkiler, estetik ve işlevsellik açısından çok önemli fonksiyonlara sahip olup, koleksiyon bahçeleri, terapi bahçeleri, botanik bahçeleri, kaya bahçeleri, çatı ve teras bahçeleri, saksılar gibi farklı alanlarda kullanım olanakları bulunmaktadır (Sarı ve Karasah, 2019). Terapi ve şifa bahçeleri, toplu kompozisyonlar halinde bitkilerin kullanıldığı, insanların duyularını harekete geçirerek iyileştirici, rahatlatıcı, dinlendirici etkisi olan önemli bir bahçe çeşididir (Keçecioglu, 2014). Hoş kokulu bitkiler ile koku alma hissi, farklı dokulara sahip bitkiler ile dokunma hissi, estetik açıdan yaprak, çiçekler ve meyve güzelliği ile görme hissi, ürünlerin toplanması ve tadı da tad duygusunu teşvik ederek iyileştirme etkileri vardır. Peyzaj düzenlemelerinde kullanımlarına önem verilmesi gerekmektedir (Düzenli, vd., 2017; Bekar ve Gülpınar Sekban, 2018; Gülpınar Sekban, 2020 ).

Tıbbi ve aromatik iyileştirme ve terapi bahçelerinde bitkilerin görsel değerlerini oluşturan dokusu, formu, gövde ve yapraklanma yapısı da tasarımda aktif rol oynamalıdır. Özellikle bir eğitim kurumuna bağlı bulunan tıbbi aromatik bitki bahçeleri, eğitici ve bilgi verici özelliklerinin yanında, doğa ve çevre bilincini geliştirici nitelikleri de olmalıdır (Hepcan ve Özkan, 2005). Önemli eğitim kurumları olan üniversite yerleşkeleri bulunduğu kent için oldukça önemli açık yeşil alanlar olup, rol model görevi üstlenmektedir (Yılmaz ve Irmak, 2012). Üniversite yerleşkeleri açık-yeşil alan planlamaları ile buldukları kente ekolojik, ekonomik, kültürel, estetik ve rekreasyonel katkılar sağlayan alanlardır (Yılmaz, 2019). Üniversite yerleşkelerinde tıbbi ve aromatik bitki bahçelerinin kurulması, yerleşkenin yeşil alan miktarını artırarak sosyalleşmeye teşvik ederek, zihinsel yorgunluğu azaltır. Bu amaçla yapılan çalışmada Güneydoğu Anadolu bölgesinin önemli kentlerinden biri olan Şanlıurfa kent merkezinde yer alan Harran Üniversitesi Şair Nabi Yerleşkesi'nde "Tıbbi Aromatik Bitkiler Vadisi Peyzaj Projesi" çalışması önerilerek, mevcut durum ve tasarım süreci ortaya koyulmuştur. Verimli topraklar üzerine kurulmuş olan Harran Üniversitesi Şair Nabi Yerleşkesi'nin tıbbi ve aromatik bitki vadisine peyzaj tasarımı önerisi getirilerek, yeşil alan oranının artırılması, halk, üniversite akademik /idari personeli ve öğrencileri için alternatif yeşil alan olarak kullanılması amaçlanmıştır. Yani sıra, tıbbi aromatik bitki türleri kullanılarak kullanıcıların farkındalığını arttırmak ve ekonomik sürdürülebilirliğe katkı sağlamak hedeflenmiştir.

Ayrıca kentte kurulacak olan tıbbi ve aromatik bitki vadisi, rekreasyonel ihtiyaçlara katkı sağlayarak kent için önemli bir açık yeşil alan ihtiyacını karşılamış olacaktır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Materyal

Çalışma alanı; Şanlıurfa ili sınırları içinde, Haliliye merkez ilçesinde, Şanlıurfa Mardin karayolunun 10. km'sinde, Göbeklitepe yolu güzergahında bulunan Harran Üniversitesi Şair Nabi Yerleşkesi'nin 150.000 m<sup>2</sup>'lik arazisinin 50.000 m<sup>2</sup>'lik tasarımı konu olan alanda gerçekleştirilmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. Çalışma alanının konumu

Çalışmada alana ilişkin vaziyet planları, topografik harita, fotoğraflar ve yetkililer yapılan görüşmeler yardımcı materyal olarak değerlendirilmiştir. Öneri projelerin çiziminde AutoCAD 2018, SketchUp and Lumion programları kullanılmıştır.

### 2.1. Metot

Çalışmada, Şair Nabi Yerleşkesi'ne yeni işlev verilerek, hem üniversitenin hem de halkın kullanımına sunulabilecek, "Tıbbi Aromatik Bitkiler Vadisi Peyzaj Projesi" çalışması önerilmiş, mevcut durum ve tasarım süreci ortaya koyulmuştur.

Alanın peyzaj tasarım projesinin hazırlanmasında yöntem olarak; Bartlett, vd., 2014; Sağlık ve Kelkit, 2015; çalışmalarından yararlanılarak, aşağıdaki aşamalardan oluşmaktadır;

- Çalışma alanının seçimi, amaç ve sorunları belirleme
- Mevcut durumu tespit etme ve veri toplama
- İhtiyaç listesi oluşturma
- Leke planı oluşturma
- Tasarım yaklaşımı ve ön tasarım
- Kesin tasarım

- Bitkilendirme tasarımı

Çalışmanın ilk aşamasında tıbbi ve aromatik bitkilerle ilgili çalışmalar, tıbbi aromatik bitki bahçelerinin yurt içi ve yurt dışındaki bazı örnekleri irdelenmiştir.

İkinci aşamada alanın çevresel özellikleri, kullanıcı eğilimleri ve üniversite yönetiminin talepleri doğrultusunda, yeni bir peyzaj tasarımının yapılmasına karar verilmiştir. Üniversite yönetimi ve teknik personellerle tasarım aşamasında istişarelerde bulunularak öneri "Tıbbi Aromatik Bitkiler Vadisi Peyzaj Projesi" oluşturulmuştur. Öneri olarak sunulan peyzaj tasarımı projesinin yapımı konusunda özellikle finansman sağlayacak olan Şanlıurfa Büyükşehir Belediyesi ile Harran Üniversitesi arasında işbirliği için görüşmeler devam etmektedir

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Tıbbi Aromatik Bitkiler Vadisi peyzaj projesinin hazırlanmasında peyzaj tasarım aşamaları aşağıdaki başlıklar altında incelenmiştir.

### 3.1. Çalışma Alanının Seçimi, Amaç ve Avantaj-Dezavantajlarının Belirlenmesi

Tıbbi Aromatik Bitkiler Vadisi peyzaj projesinin hazırlanmasında peyzaj tasarım aşamaları aşağıdaki başlıklar altında incelenmiştir.

Çalışma alanı olarak, Şanlıurfa Harran Üniversitesi Şair Nabi Yerleşkesi seçilmiştir.

Bu yerleşkenin seçilmesinde;

Toprak yapısının verimli olması, etrafının tarım yapılabilen verimli arazilerle çevrili olması ve tıbbi aromatik bitkilerin ekim ve yetiştirilme tarlaları için olanak sunması,

Yerleşkenin halk, öğrenci, akademik ve idari personelin serbest zamanlarını geçirebileceği konum ve büyüklükte olmasına rağmen, işlevleri yerine getirecek estetik ve fonksiyonel alt ve üst yapı elamanlarının bulunmaması yeni tasarımların yapılabilmesi için fırsat olmuştur.

Bu yerleşkeye yeni bir işlev verilerek; tıbbi ve aromatik bitkiler vadisi olarak yeniden tasarlanması amaçlanmaktadır. Bu amaç doğrultusunda çalışma alanının avantaj ve dezavantajları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Çalışma alanının avantaj ve dezavantajları

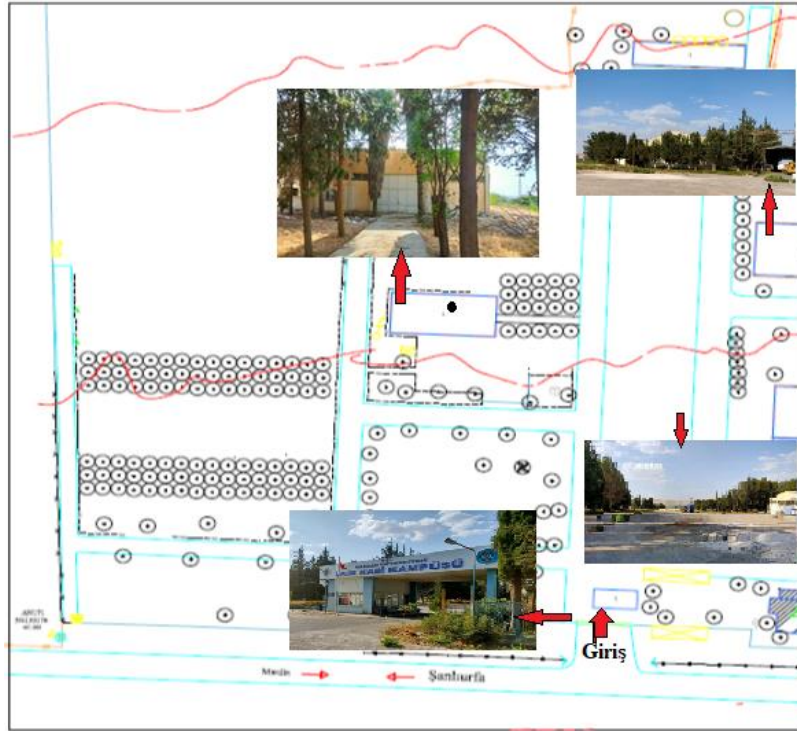
Çalışma Alanının Dezavantajları	Çalışma Alanının Avantajları
Alanda herhangi bir kentsel donatı elemanı bulunmaması	Harran Üniversitesi Şair Nabi Yerleşkesi'nin işlev verilebilecek alanlara sahip olması ve değerlendirilebilecek mevcut bitkilerinin bulunması
Alanda oturma, dinlenme vb. rekreatif faaliyetlerin yapılabileceği mekanların bulunmaması	UNESCO tarafından Dünya Kültür Mirası Geçici Listesi'nde yer alan Göbeklitepe yol güzergahında olması Göbeklitepe'ye gelen ziyaretçiler için turizm rotası olması
	Kente 10 km lik yakın bir mesafede ve doğa ile bütünleşik olması
	Alanın ve çevresinin ekim yapılabilir verimli topraklara sahip olması ve çevresinde kentleşmenin olmaması,

### 3.2. Mevcut Durumu Tespit Etme ve Veri Toplama

Proje çalışmasına başlanılmadan, çalışma alanında yerinde incelemeler yapılarak alanın mevcut durumu saptanmış, gerekli proje altlıkları hazırlanarak, sörvey çalışması gerçekleştirilmiştir. Bu aşamada çalışma alanın çevresini tanımak amacı ile özellikle gözlem ve ölçüm yapılmış, fotoğraf çekilmiş, yetkili kişiler ve üniversite yönetimi ile görüşülmüştür. Toplanan bu bilgiler vaziyet planı üzerinde belirtilerek "sörvey çalışması" oluşturulmuştur. Sörvey çalışmasıyla alana ilişkin mevcut durum

ortaya konulduktan sonra tasarlanacak etkinlik alanlarının yerleri arazinin imkanlarına göre konumlandırılmıştır.

Harran Üniversitesi Şair Nabi Yerleşkesi; Harran Üniversitesi'nin kent merkezindeki eski yerleşme olup,. Osmanbey Yerleşkesi'nin ana yerleşke olması ile bu yerleşkede, yaklaşık son 5 yıldır eğitim-öğretim faaliyetlerinin yapılmamaktadır. Çalışma alanının doğusunda, geçmişte tarım aletlerinin yapımı için kullanılan fabrikalar yer almaktadır. (Şekil 2.



Şekil 2. Alanın halihazır durumu, eğimi ve işlevlendirilebilecek fabrikalar (Anonim,2021c)

Alanın kuzeyi ve batısı verimli arazilerle çevrilidir. Alanın kuzeyinde bulunan 100.000 m<sup>2</sup>'lik verimli arazi Harran Üniversitesinin mülkiyetinde olup, tıbbi aromatik bitkiler için ekim ve yetiştirme alanlarına dönüştürülmesi düşünülmektedir



Şekil 3. Çalışma alanının çevresindeki verimli tarlalar

(Şekil 3). Çalışma alanı olarak seçilen Şair Nabi yerleşkesi; oldukça düz bir topoğrafyaya sahip olup, alanın ortasında 50 m genişliğinde ve 300 metre uzunluğunda bir sert zemine sahiptir (Şekil 4).



Şekil 4. Alanda bulunan geniş sert zemin

Yeşil dokuda ise rastgele dikilmiş bitkiler ve bakımsız yeşil alanlar bulunmaktadır. Bu bitki türleri; *Cupressus sempervirens* L. (Servi), *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle (Kokarağaç), *Washingtonia robusta* H.Wendl. (meksika yelpaze palmyesi), *Thuja plicata* (boylu mazı), *Thuja orientalis* "pyramidalis" (piramit mazı), *Cedrus atlantica* (mavi

atlantik sediri), *Pinus nigra* Arnold. (karaçam), *Ligustrum japonicum* Thunb. (Japon Kurtbağrı), *Rosa sp.*(gül) ve *Nerium oleander* L. (zakkum) 'dur (Şekil 5).



Şekil 5. Alanda mevcutta bulunan bitkiler ve yeşil alanlar



### 3.3. İhtiyaç Programı Oluşturma

İnsanın bir mekanda, bir etkinliği gerçekleştirmesi için mekanın bu etkinliğe uygun olması gereklidir. Bunun sağlanabilmesi için, ihtiyaç-etkinlik-mekan ilişkisi iyi kurgulanmalıdır (Yılmaz, 2015). Bu aşamada, alan ve çevresinde bulunan çevresel faktörler irdelenerek, bu faktörlere göre

kullanımlar getirilmiştir. Alanda tespit edilen sorunlara ilişkin çözüm önerileri geliştirilerek, ihtiyaçlara yönelik "ihtiyaç programı" hazırlanmıştır (Tablo 2).

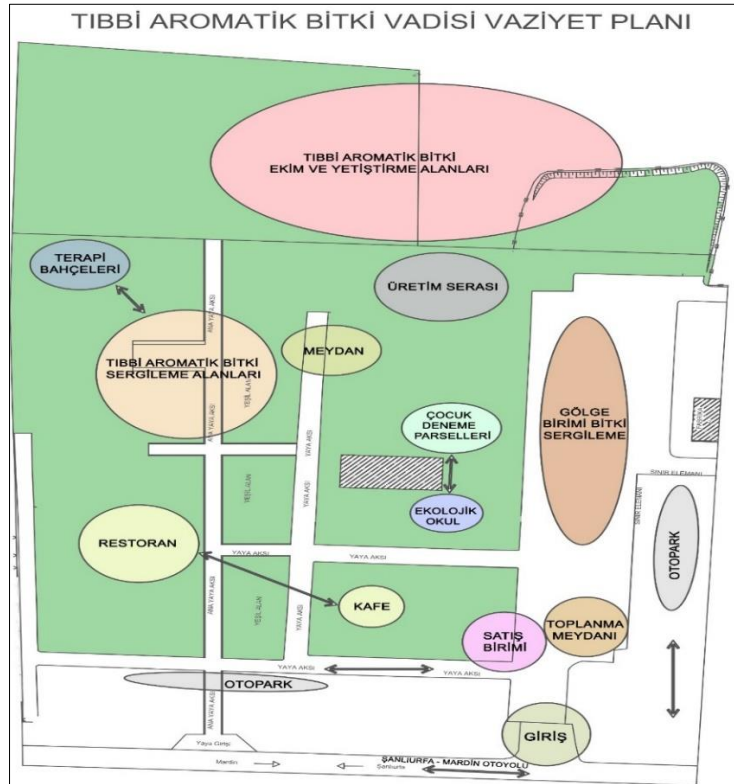
Tablo 2. İhtiyaç programında yer verilen kullanımlar

İhtiyaç programında yer verilen kullanımlar
Tıbbi aromatik bitkiler vadisi konseptine uygun giriş
Tıbbi aromatik bitki dikim parselleri ve sergileme alanı
Tıbbi aromatik bitkiler ekim ve yetiştirme tarlaları
Tıbbi aromatik ürün satış birimleri
Ekolojik okul
Restorant ve cafe

Mevcut korunacak bitkiler
Toplanma, oturma, izleme ve dinlenme alanı
Gölgeleme birimi
Çiçek parterleri
Otopark alanı
Tıbbi aromatik bitki işleme fabrikası
Üretim serası

### 3.4. Leke Planı Oluşturma

Bu aşamada, ihtiyaç listesinin belirlenmesi ve alanın mevcut durumu ve analizine göre, uygun yerlere alan kullanımlarının lekeler halinde ölçeksiz olarak yerleştirilerek, Tıbbi Bitkiler Vadisi leke planı elde edilmiştir (Şekil 6).



Şekil 6. Leke planı

### 3.5. Tasarım Yaklaşımı Ve Ön Tasarım

Tasarıma yön veren yaklaşım saptanarak, Leke planında belirtilen kullanımların proje üzerine ölçekli olarak aktarılması ile tasarıma yönelik ana kararlar, fonksiyonların ilişkilendirildiği ön proje hazırlanmıştır.

Çalışmada tasarıma yön veren yaklaşım;

- Eğitime katkı sağlama ve toplum bilincini artırma; Türkiye tıbbi ve aromatik bitkiler açısından zengin flora sahip olmasına rağmen uzmanları, halkı ve çocukları bu konuda bilinçlendirilebilecek mekanlar bulunmamaktadır. Tıbbi ve aromatik bitki dikim parselleri ve sergileme alanına gerekli bilgilendirme tabelalarının konumlandırılması ile bu bitkilerin öğrenimi kolaylaşmaktadır (Yoğunlu, 2011). Bu bilgilendirme tabelalarında tıbbi aromatik bitkilerin ne şekilde kullanılacağına dair bilgilere yer verilmesi toplum bilincini artırarak doğa ile insan arasındaki bağı kuvvetlendirir.

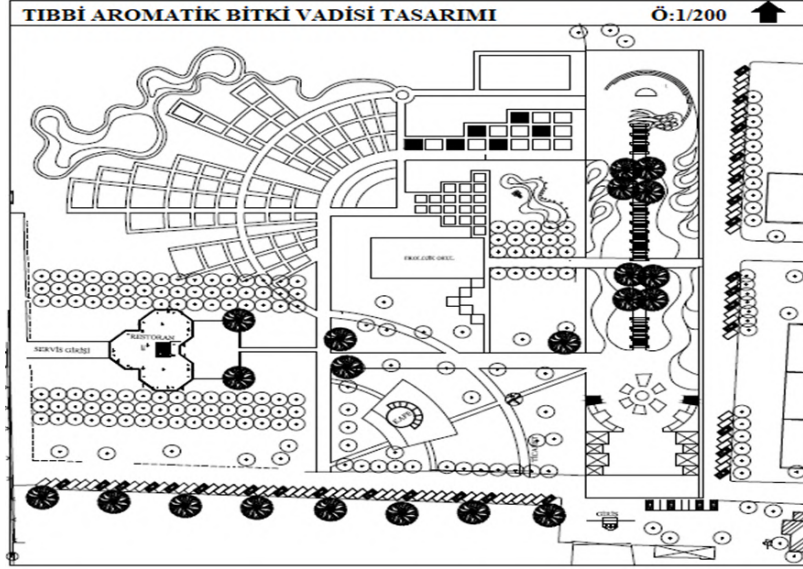
- Toplumsal sağlığı artırma; hem bitkilerle doğal tedavi ile insanlar sağlığına kavuşurlarken, hemde tasarımda yer alacak terapi bahçeleri ile bitkilerin koku, görsel etkileri ile rahatlamalarına olanak sağlayacaktır.
- Türlerin devamlılığına katkı sağlama ve peyzaj tasarımlarında bitki tür çeşitliliğini artırma; Türkiye’de yöre halkı tarafından tıbbi amaçlı kullanılan çok fazla tıbbi aromatik tür bulunmasına rağmen bu türlerin çok azı kültüre alınarak üretimleri yapılmaktadır. (Kevseroğlu, vd., 2014).Yapılan etnobotanik çalışmalarda bu türlerin saptanarak kültüre alınması türlerin sürdürülebilirliği açısından önemlidir. Peyzaj tasarımlarında tıbbi aromatik bitkilerin kullanımına önem verilerek, bitki tür çeşitliliği arttırabilir.
- Ekonomiye katkı sağlama; bitkilerin fabrikada işlenmesi ile tıbbi aromatik bitkilerden yağ, çay, kozmetik vb. ürünlerin elde edilmesi sağlanabilir. Bu ürünlerin ihracatı ile ülke ekonomisine katkı sağlanabilir.

### 3.6. Kesin Tasarım

Alanda yapılan, mevcut durumu tespit etme, sorunları belirleme ve veri toplama, ihtiyaç listesi ve leke planı sonucu şekillenen ön tasarım geliştirilerek peyzaj tasarım projesi/kesin proje hazırlanmıştır.

Yapılan peyzaj tasarımı sonucu alanda yapılması planlanan mekan ve etkinlikler; tıbbi ve aromatik bitki dikim ve sergileme parselleri, ekim ve yetiştirme alanları, üretim serası, tıbbi ve

aromatik bitki işleme fabrikası, giriş ve danışma birimi, ekolojik okul ve restoran, toplanma meydanı, tıbbi aromatik ürün satış birimleri, gölgeleme birimi, terapi bahçesi, oturma birimleri, yürüme yolları, otopark ve donatı elemanlarıdır (Şekil 7, Şekil 8, Şekil 9).



Şekil 7.. Öneri proje çalışmasının planı



Şekil 8. Öneri proje çalışmasının görselleştirmeleri



Şekil 9. Gölgeleli bitki sergileme alanının görselleştirmeleri

### 3.6.1. Tıbbi ve Aromatik Bitki Dikim Ve Sergileme Parselleri, Ekim Ve Yetiştirme Alanları, Üretim serası, Tıbbi ve Aromatik Bitki İşleme Fabrikası

Projenin ana teması tıbbi aromatik bitkiler olduğundan bu kapsamda proje alanında yapılan gözlemler ve literatür taramalarından elde edilen veriler doğrultusunda tıbbi aromatik bahçelerde bitki dikim ve sergileme parselleri tasarlanmıştır. Tıbbi aromatik bitkilerin tek yıllık, çok yıllık ve geofit bitki dikim alanlarından oluşup, giriş kısmında bulunan gölge elemanının

kenarlarında yörede doğal olarak yayılış gösteren tıbbi aromatik bitkilerden çiçek güzelliği olan türler tercih edilmiştir. Ziyaretçilere tanıtım tabelaları ile bitkilerin tanıtımlarının yapılması sağlanabilecektir. Arzu eden ziyaretçilerine telefonlarına ilgili programı indirip, QR kodunu okutarak ayrıntılı ve sesli bilgi alabilmesine olanak sağlayacak şekilde tasarım kararı geliştirilmiştir. Alan yönetim planı oluşturularak, randevulu şekilde okullar veya özel grupların gezebilmesi konusunda planlama yapılması gerekmektedir (Şekil 10).



Şekil 10. Tıbbi ve Aromatik Bitki Dikim Ve Sergileme Parselleri

*Ekim ve yetiştirme alanları;* tıbbi aromatik bitki vadisinin kuzeyinde yer alan 100 dönümlük verimli alan ekim ve yetiştirme alanları için uygundur. Bu alanda tarlalara ekilen tıbbi aromatik bitkilerin hasadı gerçekleştirilerek tıbbi ve aromatik bitki işleme fabrikasına gönderilmesi mümkündür.

*Üretim serasında;* özellikle tek yıllık otsu tıbbi ve aromatik bitkilerin değişimlerinin her yıl yapılması gerektiğinden bu bitkilerin tohumdan veya çelikten üretimleri bu serada yapılabilecektir.

*Tıbbi aromatik bitki işleme fabrikası ise* çalışma alanının doğusunda yer alan fabrikaların, tıbbi aromatik bitkilerin işlendiği fabrikaya dönüşümü kararı verilmiştir.

Dönüştürülen fabrika için yeni işlevler olarak, bitkilerin tıbbi amaçla kullanılan kısımları kurutulup, paketleme yapılması, uçucu ve sabit yağ elde edilebilmesi, merhem, krem, parfüm, kolonya, sabun üretimi yapılması önerilmektedir. Tıbbi aromatik bitkilerden aynı zamanda; tıbbî çay, tıbbî macun, otlu ekmek ve kurabiye, doğal reçel, sirke, turşu, şerbet, sos, bitkisel enerji içeceği üretimi de yapılması sağlanabilir. Tıbbi aromatik bitki işleme fabrikasında; personel, stajyer ve kursiyerlerin faydalanması mümkündür (Şekil 11).



Şekil 11. İşlev değişikliği önerilen tıbbi aromatik bitki işleme fabrikası iç mekan detayı (Çekin, vd., 2016)

### 3.6.2. Giriş Ve Danışma Birimi

Proje alanında giriş ve çıkışın güvenlik açısından kontrollü olması için bir adet giriş- çıkışın sağlandığı birim tasarlanmıştır. Bu girişin ortasında danışma ve güvenlik, sağında ve solunda kontrollü yaya ve araç giriş-çıkış yolları tasarlanmıştır. Ana giriş tasarımında; etkili renk ve bitki formuyla bir tasarım yapılmasına

özen gösterilmiştir. Şanlıurfa'da buğday bitkisinin ilk olarak Göbeklitepe eteklerinde 12 bin yıl önce yetiştirilmesi sebebi ile giriş kapısının formu buğday başağı şeklinde simgesel bir tasarım yapılmasına karar verilmiştir. Şanlıurfa –Mardin yolundaki hızlı akan trafikte insanlar için girişin algılanabilir olması önem taşımaktadır (Şekil 12) .



Şekil 12. Öneri giriş kapısı tasarımı

### 3.6.3. Ekolojik okul ve restoran

Çalışma alanının merkezinde bulunan günümüzde kullanılmayan binanın dönüşümü sağlanarak ekolojik okul olarak tasarlanması kararı alınmıştır. Çocuklar için doğal tepe ve kütüklerden yapılan oyun alanı, bitki ekim ve dikim yapabilecekleri bitki ekimleri yapabildikleri gibi, beş duyu ile algılanan bitkileri keşfedilerek

deneyim sağlayabildikleri bir mekan kurgusunun tasarlanması hedeflenmiştir (Şekil 13). Çocuklar; tohum, yaprak ve toprak kapları ile uğraşarak doğayı deneyimleyerek, çocuklar için bitki dikim parsellerindeki farklı bitkileri tanıması kararı alınmıştır (Şekil 14, Şekil 15).



Şekil 13. Ekolojik çocuk oyun alanları



Şekil 14. Çocuklar için tohum, yaprak ve toprak kapları örnek görseli

Nezahat Gökyiğit Botanik Bahçesi (Orijinal)





Şekil 15. Çocuklar için bitki dikim parselleri, Nezahat Gökyiğit Botanik Bahçesi (Orijinal)

Ayrıca misafirlerin yeme içme faaliyetlerini karşılayabilecek, restoran ve kafede diğer yapısal elemanları oluşturmaktadır. Restoran ve kafe mevcut bitkisel dokunun yakınında

konumlandırılarak, tasarlanan oturma elemanları ile doğal gölgeleme yapılması hedeflenmiştir. (Şekil 16).



Şekil 16. Kafe ve oturma birimleri

### 3.6.4. Toplanma Meydanı, Tıbbi Aromatik Ürün Satış Birimleri ve Gölgeleme Birimi

Girişten alana girildiğinde bir toplanma meydanı insanları karşılarken, bu alanda etkiyi arttıracak, mekana serinlik ve hareket katacak su ögesinin tasarımı uygun bulunmuştur (Şekil 17). Ayrıca girişte yer alan toplanma meydanının çevresine; yetiştirilen tıbbi ve aromatik bitkilerden oluşan ürünlerin satışı için ticari birimler oluşturulmuştur.

Çalışma alanının ortasında mevcutta bulunan 50 metre genişliğindeki sert zemine; yeşil doku ve gölgeleme birimi getirilerek yumuşatılması kararı alınmıştır. Gölge biriminin tasarımı yapılarak sarmaşıkların kullanılması uygun bulunmuştur (Şekil 18).

Gölgeleme biriminin taşıyıcı ayaklarında Şanlıurfa yöresinde doğal yayılış gösteren gösterişli geofitlerin silüetleri kullanılmıştır. Bu geofitler; *Centaurea obtusifolia* (Boiss. & Hausskn.) Wagenitz , *Hyacinthella nervosa* (Bertol.) Chouard, *Muscari comosum* (L.) Mill.'dir. Taşıyıcı ayakların bu bitki türleri ile süslenmesi ile hem bitki tanıtımlarının yapılması, hem de alana canlılık getirmesi amaçlanmıştır. Gölge biriminin yapım malzemesi olarak yörenin yerel malzemesi olan urfa taşı tercih edilmesi, bitki figürlerin işlenmesi için kırık seramik parçalarının mozaik şeklinde yapıştırılması önerilmektedir. Böylece mekana renk verilerek, canlılık ve hareketlilik sağlanmış olacaktır. Bu teknikle yapılan Barselona'da Antoni Gaudi tarafından tasarlanan Park Güell en popüler ikonlardandır.



Şekil 17. Toplanma meydanı



Şekil 18. Tasarımı yapılan gölge birimi

### 3.6.5. Terapi bahçesi

Terapi bahçeleri, stresi azaltan, dikkati toparlayan, pozitif duygu ve düşünceye katkı sağlayan ortamlardır. Tıbbi aromatik bitkilerin renkleri ve kokuları bireylerde huzur, sakinlik, rahatlama sağlarken, yaşlı bireylerde fiziksel ve ruhsal rahatlamalara neden olmaktadır (Ulrich, 2002).

Terapi bahçesi olarak saptanan alan çalışma alanının kuzeyinde tıbbi aromatik bitki yetiştirme tarlaları ile sınır oluşturan alandır. Bu alanın yerinin tespitinde, insan sirkülasyonunun az olması ve görsel açıdan engin bir manzara seyri sunması etkili olmuştur. Bu alanda, kaya bahçesine, doğal su elemanına ve doğal yürüyüş yollarına yer veren bir tasarım geliştirilmiştir.

### 3.7. Bitkisel Tasarım

Tıbbi ve aromatik bitki bahçelerinin en önemli unsuru tıbbi aromatik bitkiler ve o yörede doğal yayılış gösteren bitkilerin oluşturduğu yaşam ortamlarına önem verilmesidir. Alan daha önce üniversite yerleşkesi olarak kullanıldığından burada var olan bitki türleri bulunmakta olup, mevcut bitkilerin korunması gerektiğinden bu türler olduğu gibi korunması kararı geliştirilmiştir. Korunan bu bitkilere ek olarak, tasarım ana konsepti olan tıbbi aromatik bitkilerin kullanılması uygun bulunmuştur.

Türkiye’de tıbbi bitkilerin önemi kavranarak ıslah çalışmalarına hız verilmiştir. Türkiye’de anason, rezene, kişniş, nane, fesleğen, çörekotu, çemen, kırmızıbiber, yağ gülü, çay, kudret narı, şerbetçi otu çemen, haşhaş, kimyon, safran Kekik, anason ve kişniş çok uzun zamandır kültürü yapılan tıbbi ve aromatik bitkilerdir. Bunlara zaman içerisinde; biberiye, ekinezya, kebere, kekik, lavanta, papatya, şekerotu, çöven, sarı kantaron gibi bazı yeni bitkiler de eklenmiştir. Kardelen, salep, göl soğanı, yılan yastığı, yılan bacağı, zambak, ters lale ve lale gibi soğanlı bitkiler de yeni kültür bitkileri arasındadır. Ancak bunlar içerisinde en yaygın olarak yetiştirilen tür kekik olup, diğerlerinin üretimleri henüz

ihtiyacı karşılamamaktadır (Arslan ve ark., 2015). Şanlıurfa’da Gaftaem tarafından tıbbi ve aromatik bitkilerin üretimi ile ilgili başlatılan çalışmada; *Lavandula angustifolia* Mill. (lavanta), *Thymbra spicata* L. var. *Spicata* (Zahter, kekik), *Melissa officinalis* L. (Oğulotu, Melisa), *Salvia officinalis* (ada çayı), *Stevia rebaudiana* Bertoni (şeker otu), *Mentha piperita* L. (nane), *Nigella* spp (çörek otu) ve *Thymus* spp.( Kekik) gibi bitkilerin üretimi yapılarak; Şanlıurfa kenti için uygulanabilir olduğu görülmüştür (Anonim 2020).

Güneydoğu Anadolu Bölgesi’nde Şanlıurfa’da bulunup ihracatı yapılan tıbbi aromatik bitkiler ise ; *Capparis spinosa* L. var. *spinosa* (Sahil keberi), *Capparis ovata* Desf. var. *palaestina* Zoh. (Kara keber), *Thymbra spicata* L. var. *spicata* (Zahter, kekik, kara kekik), *Glycyrrhiza glabra* L. var. *glabra* ve var. *glandulifera*(meyan), *Rhus coriaria* L. (sumak), *Pistacia khinjuk* Stocks (bittim), *Pistacia terebinthus* L. ( menengiç), *Cerasus mahaleb* var. *mahaleb* (L.) Mill. (Mahlep) bitkileridir (Akan, vd., 2005).

Tıbbi Aromatik Bitki Dikim ve sergileme Parsellerine, Şanlıurfa’da doğal yayılış gösteren tıbbi aromatik bitkilerin yanında, bölgenin doğal bitki örtüsünde yer almayan ancak tıbbi-aromatik özelliği ile bölgeye adapte olabilecek türlere de yer verilmiştir. Böylece bitkilerin Şanlıurfa koşullarına uyum sağlayabilme durumları da izlenebilecektir. Ayrıca tıbbi aromatik bitki dikim ve sergileme parsellerinde; bilgi edinme ve uygulama sağlanmış olacaktır.

Tıbbi aromatik bitki dikim ve sergileme parsellerinde bitkilerin dikim alanları; 5 farklı gruba ayrılmıştır. Bunlar; tek yıllık otsu tıbbi aromatik bitkiler adası, çok yıllık otsu tıbbi aromatik bitkiler adası, geofit bitkileri adası ve çalimsı bitkiler ve ağaççıklar adalarıdır. Yapılan araştırma ve literatür taramalarından kullanımı önerilen tıbbi aromatik bitkiler Tablo 3’de verilmiştir (Anonim 2020, Akan, vd., 2005).

Tablo 3. Kullanılması Önerilen Tıbbi Aromatik Bitkiler

Tek Yıllık Otsu Tıbbi Aromatik Bitkiler	Çok Yıllık Otsu Tıbbi Aromatik Bitkiler
<i>Ocimum basilicum</i> L.(Fesleğen)	<i>Arctium lappa</i> L. (dulavrat otu)
<i>Peganum harmala</i> L. (Üzerlik)	<i>Thymus</i> spp.( Kekik)
<i>Cuminum cyminum</i> L. (kimyon)	<i>Salvia</i> spp.(Adaçayı)
<i>Pimpinella anisum</i> L. (Anason)	<i>Melissa officinalis</i> L. (Oğul otu)
<i>Coriandrum sativum</i> L.(kişniş)	<i>Mentha x piperita</i> (nane)
<i>Foeniculum Vulgare</i> Miller (rezene)	<i>Echinacea purpurea</i> (L.) Moench (Ekinezya)
<i>Trigonella foenumgraecum</i> L. (çemen)	<i>Sideritis perfoliata</i> L (dağ çayı)
<i>Nigella sativa</i> L. (çörek otu)	<i>Helichrysum arenarium</i> (altın Otu)
<i>Anethum graveolens</i> L.(dereotu)	<i>Tanacetum parthenium</i> L. (gümüşdüğme)
<i>Momordica charantia</i> L.(kudret narı)	<i>Hypericum capitatum</i> var. <i>capitatum</i> (kantaron)
<i>Carthamus tinctorius</i> L. (aspir)	
<i>Calendula officinalis</i> L. (aynısafa, portakal nergizi)	

<i>Helianthus tuberosus</i> L. (Yer Elması)	
<b>Çalı Formundaki Tıbbi Aromatik Bitkiler</b>	<b>Ağaçcık Formundaki Tıbbi Aromatik Bitkiler</b>
<i>Capparis spinosa</i> L. var. <i>Spinosa</i> (Sahil keberi),	<i>Pistacia khinjuk</i> Stocks (bıttım)
<i>Capparis ovata</i> Desf. var. <i>palaestina</i> Zoh. (Kara keber)	<i>Pistacia terebinthus</i> L. (menengiç),
<i>Thymbra spicata</i> L. var. <i>spicata</i> (Zahter, kekik)	<i>Cerasus mahaleb</i> var. <i>mahaleb</i> (L.) Mill. (Mahlep)
<i>Glycyrrhiza glabra</i> L. var. <i>galabra</i> ve var. <i>Glandulifera</i> (Meyan)	<i>Crataegus monogyna</i> (alıç)
<i>Rhus coriaria</i> L. (sumak),	<b>Geofitler</b>
<i>Rosa canina</i> (Kuşburnu)	<i>Allium cepa</i> L.,
<i>Lippia citriodora</i> L. (Limon otu)	<i>Crocus</i> L. (Çiğdem)
<i>Lavandula angustifolia</i> Miller (Lavanta)	<i>Orchis</i> L. (Salep)
<i>Rosmarinus officinalis</i> L. (Biberiye)	<i>Zingiber officinale</i> (Zencefil)
<i>Pelargonium graveolens</i> L. (İtır)	<i>Curcuma longa</i> (Zerdeçal)
<i>Stevia rebaudiana</i> Bertoni L.,(şeker otu)	
<i>Sambucus nigra</i> L. (Kara Mürver)	
<i>Rosa damascena</i> Mill. (Yağ Gülü)	
<i>Passiflora</i> spp L. (Çarkıfelek)	

Tıbbi aromatik bitkiler bahçesinin giriş ve gölgeleme biriminin çevresinde Şanlıurfa'da doğal yayılış gösteren yerel türlerden, peyzaj açısından renk güzelliği olan, aynı zamanda tıbbi aromatik özellikleri olan fakat bu özelliklerinin fazla değerlendirilmediği türlerin kullanılması önerilmektedir. Yörede doğal yayılış gösteren tıbbi ve aromatik bitkilerin tercih edilmesi çevresel şartlara uyum sağlayarak, bitkisel tasarımın dayanıklılığında arttırmaktadır (Bayramoğlu, 2016; Robinson, 2016).

Gelecek ziyaretçilere ve kullanıcıları karşılayan giriş tasarımı yapılırken gölgeleme biriminin kenarlarında Şanlıurfa kentinde doğal yayılış gösteren ve estetik özellikleri olan tıbbi ve aromatik bitkilerin kullanımı tercih edilmiştir. Bu türlere Tablo 4'de yer verilmiştir.

Tablo 4. Şanlıurfa'da Doğal Yayılış Gösteren Tıbbi Ve Aromatik Yerörtücü Bitkiler

#### Şanlıurfa'da Doğal Yayılış Gösteren Tıbbi Ve Aromatik Yerörtücü Bitkiler

*Ajuga chamaepitys* (L.) Schreb (Acıgıcı)

*Achillea wilhelmsii* C. Koch (Civanperçemi)

*Linum mucronatum* Bertol. (sarıketen)

*Peganum harmala* L. (üzerlik)

*Geranium tuberosum* L. (çakmuz)

*Galium verum* L. – (Boyalık)

*Acanthus syriacus* L. (Suriye ayıpençesi)

*Salvia multicaulis* Vahl. (kürtreyhanı)

Bu bitkilerin bu alana dikimi ile halkın bu yöreye ait olan türlere olan farkındalığı artarak kullanımları yaygınlaşacaktır. Alanın doğusunda mevcutta yer alan fabrika ve otopark alanından bu mekanı koparmak ve sınır oluşturmak amacı ile budamaya ve kuraklığa elverişli çit oluşturan ; *Cupressus arizonica 'glauca'*

kullanılması önerilmiştir. Gölge biriminin etrafında görsel anlamda estetik durması açısından *Cupressus arizonica 'Glauca'* kullanılarak değişik şekillerde budanıp şekil verilmesi uygun bulunmuştur. Gölge biriminin üzerine sarılıcı olarak sarmaşık

türlerinden *Parthenocissus quinquefolia* (L.) (Amerikan sarmaşığı) önerilmiştir.

#### 4. Sonuç

Yerleşke bahçeleri bir kent için oldukça önemli açık yeşil alanlardır. Bu kapsamda çalışmada değerlendirilen alan Harran Üniversitesi Şair Nabi yerleşkesinde, kullanıcıların isteklerine cevap veren huzurlu açık yeşil alana dönüşümü için “Tıbbi Aromatik Bitki Vadisi” projesi önerilmiştir. Tasarlanan projenin Harran Üniversitesi Rektörlüğü’ne bağlı ilgili birimlerle yapılan istişareler, yönetiminin talepleri, finansal faktörler ele alınmıştır. Hazırlanan projenin üniversite yönetimine sunumu gerçekleştirilmiş olup, Şanlıurfa Büyükşehir Belediyesi ve Harran Üniversitesi işbirliği ile yapımı öngörülmektedir.

Proje uygulaması tamamlandığında öğrencileri, akademik/idari personel ve aynı zamanda halkın kullanımına da sunularak, çevre ile uyumlu, tıbbi ve aromatik bitki çeşitliliğine yer verilen, sürdürülebilir, güvenli ve estetik, ekolojik ve fonksiyonel, iklim şartlarına dayanıklı, alana yapısal yük getirmeyen, üniversite kimliğine ve prestijine katkı sağlayan bir peyzaj tasarımı ortaya çıkacaktır. Önerilen projede tıbbi ve aromatik bitki dikim ve sergileme parselleri, ekim ve yetiştirme alanları, üretim serası, tıbbi ve aromatik bitki işleme fabrikası, giriş ve danışma birimi, ekolojik okul ve restoran, toplanma meydanı, tıbbi aromatik ürün satış birimleri, gölgeleme birimi, terapi bahçesi gibi kullanımlara yer verilmiştir.

Projenin uygulanması ile;

- Şanlıurfa kenti ve GAP ölçeğinde önemli bir açık yeşil alanın oluşumuna katkı sağlanacaktır.
- Tıbbi aromatik türler kullanıcılara tanıtılarak, biyolojik çeşitlilik korunarak sürdürülebilirliği sağlanacaktır.
- Tıbbi ve aromatik bitkilerin kullanımı, değerlendirilmesi ve üretimi sağlanabilecektir. Bu bitkilerden çay, baharat, aromatik su, çeşni, uçucu yağ, pomat, macun, parfüm, krem, ilaç vb. maddeler elde edilerek ekonomiye kazandırılması mümkün olabilecektir.
- Şanlıurfa’da yöresinde doğal olarak yayılış gösteren tıbbi aromatik yer örtücü bitkilerin kullanımı önerilmektedir. Doğal yayılış gösteren türler için ex-situ koruma alanı olacaktır. Aynı zamanda yörede çok fazla bilinmeyen tıbbi aromatik bitki türlerine karşı halkın farkındalığı artarak, doğa bilgisi ve çevre bilincinin gelişmesine yardımcı olacaktır.
- Harran Üniversitesi personel, öğrencileri ve farklı kurumlarda çalışanlar için bilimsel araştırmalara olanak sağlanacaktır. Bunun yanında; biyoloji, eczacılık, ziraat mühendisliği, peyzaj mimarlığı, tıbbi ve aromatik bitkiler vb. bölümler için staj olanağı sunulabilecektir.
- Çocuklar için toprağa dokunma, bitki dikimi ve yetiştirme olanağına sahip olurken, çocukların ekolojik bilgisi artacaktır.
- Bitki fotoğrafçılığı, terrarium, aromatik bitki festivalleri vb. etkinliklere ev sahipliği yapılabilecektir.

- Yerleşke içindeki atıl durumdaki fabrikalar işlev kazanarak, tıbbi aromatik bitkileri işleyen fabrikaya dönüşüp, ekonomiye katkı sağlayacak.

Bu projenin sağlıklı yürütülebilmesi için; yönetim, organizasyon, tanıtım, kontrol ve hizmetler sektörü, araştırma merkezi müdürlüğü oluşturularak, geleceğe yönelik geniş vizyonlu planlama çalışmaları yapılmalıdır.

Sonuç olarak, Şanlıurfa’da tıbbi aromatik bitki bahçesinin kurulabilmesi için Harran Üniversitesi ve Şanlıurfa Büyükşehir Belediyesi konunun önemini kavrayarak bir girişim başlatmış olup, çalışmalar devam etmektedir. Özellikle bu konuda yerel, yazılı ve görsel basın, sivil toplum örgütlerinin de içinde olacağı geniş kapsamlı kamuoyu oluşturularak, gerekli maddi destek sağlanmalıdır.

#### 5. Teşekkür

Çalışmanın 3 boyutlu görsellerinin yapımında desteklerini esirgemeyen Mimar İbrahim Akgül’e teşekkür ederiz

#### Kaynakça

- Akan, H., Aslan, M., & Balos, M. M. (2005). GAP yöresindeki tıbbi ve aromatik bitkiler. TUBITAK Proje No: TBAG/Ç. SEK, 22, 103-T009.
- Arslan, M. (2010). Tıbbi ve aromatik bitki türlerinin peyzaj mimarlığı çalışmalarında kullanım olanakları. IV. Süs Bitkileri Kongresi bildiriler kitabı içinde, (ss. 265-270) Mersin: Alata Bahçe Kültürleri Araştırma Enstitüsü.
- Arslan, N., Baydar, H., Kızıl, S., Karık, Ü., Şekeroğlu, N., & Gümüştü, A. (2015). Tıbbi aromatik bitkiler üretiminde değişimler ve yeni arayışlar. Türkiye Ziraat Mühendisliği VIII. Teknik Kongresi, 12-16.
- Anonim(2020).<https://arastirma.tarimorman.gov.tr/gaptaem/Haber/84/Sanliurfada-Tibbi-Ve-Aromatik-Bitki-Atagi>
- Anonim (2021A) “Doğu Karadeniz Bölgesi Tıbbi Ve Aromatik Bitkilerin Envanterinin Çıkarılması, Ticari Kullanımının Araştırılması Ve Üreticilerin Eğitimi Projesi Ar-Ge Bahçelerinin Kurulumu Ve Üreticilerinin Eğitimi” [https://www.dokap.gov.tr/Upload/Genel/dokap-tab-sektor-analizleripdf-242109-rd\\_55.pdf](https://www.dokap.gov.tr/Upload/Genel/dokap-tab-sektor-analizleripdf-242109-rd_55.pdf)
- Anonim (2021B). TC Tarım ve Köyişleri Bakanlığı, [www.tarim.gov.tr/uretim/bitkisel/yetistiricilik\\_bilgi/aromati\\_k/aromatik.htm](http://www.tarim.gov.tr/uretim/bitkisel/yetistiricilik_bilgi/aromati_k/aromatik.htm)
- Anonim (2021C) Şanlıurfa Büyükşehir Belediyesi İmar ve Şehircilik Dairesi Başkanlığı verileri
- Bayramoğlu, Elif (2016). “Sürdürülebilir Peyzaj Düzenleme Yaklaşımı: KTÜ Kanuni Kampüsü’nün Xeriscape Açısından Değerlendirilmesi”, *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 17(2), 119-127.
- Baytop, T., (1999). Türkiye’de Bitkiler, ile Tedavi (Geçmişte ve Bugün), 2.Baskı Nobel Tıp Kitapevleri Ltd.Şti. s 3-8, İstanbul.
- Bekar, M., & Sekban, D. Ü. G. (2018). Use of Plants with Color and Olfactory Effect in Landscape Architecture. *Science, Ecology and Engineering Research in the Globalizing World*, 461.
- Çekin, M. D., Alpınar, K., & Küçük, İ. (2016). Zeytinburnu Tıbbi Bitkiler Bahçesi. *İstanbul: Zeytinburnu Belediyesi Kültür Yayınları*, (35).
- DÖNMEZ, Ş., ÇAKIR, M., & Şeyma, K. E. F. (2016). Bartın’da yetişen bazı tıbbi ve aromatik bitkilerin peyzaj mimarlığında

- kullanımı. *Mimarlık Bilimleri ve Uygulamaları Dergisi*, 1(2), 1-8.
- Düzenli, T., Tarakci Eren, E., Akyol, D. (2017). Concept of Sustainability and biophilic design in landscape architecture. *The Journal of Academic Social Science*, 5, 43-49.
- Erbaş, Serhat (2013). Türkiye'nin Bazı Tıbbi Ve Aromatik Bitkileri, Oman ve Su İşleri Uzman Yardımcısı, Ankara, 1-58
- Ersöz, T., (2012) Bitkisel İlaçlar ve Gıda Takviyeleri İle İlgili Genel Yaklaşım ve Sorunlar, *MİSED*, Sayı : 27-28, s:11-21
- Faydaoğlu, Emine, Sürücüoğlu, M. Saip (2011). "Geçmişten Günümüze Tıbbi ve Aromatik Bitkilerin Kullanılması ve Ekonomik Önemi", *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 11(1), 52-67
- Fuller, R.A., Invine, K.N., Devine-Wright, P., Warren, P.H., Gaston, K.J., (2007). Psychological benefits of green spaces increase with biodiversity. *Biology Letters*, 3(4): 390-384.
- Gülgün, B., Güney, M., A., Aktaş, E., Yazıcı, K., (2014). Role of Landscape Architect in Interdisciplinary Planning of Sustainable Cities. *Journal of Environmental Protection and Ecology* 15, No 4, 1877-1880.
- Gülpinar Sekban, D. Ü. (2020). Şifa Bahçelerinin Karadeniz Teknik Üniversitesi Kanuni Kampüsü Çerçevesinde Değerlendirilmesi. *Journal of International Social Research*, 13(74).
- Hepcan, Ç. C., & Özkan, B. (2005). Botanik bahçelerinin kentsel dış mekânlar olarak kullanıcılara sunduğu olanakların belirlenmesi. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 42(3), 159-170.
- Keçecioğlu, P. ve Cengiz, G. (2013). İyileştirme bahçelerinde tasarım kriterleri ve bitki kullanımının irdelenmesi. V. Süs Bitkileri Kongresi, 6-9 Mayıs 2013, Yalova.
- Kevseroğlu K, Uzun A, Çalışkan V (2014) Orta ve Doğu Karadeniz Bölgesi Doğal Florasında Belirlenen Tıbbi ve Aromatik Bitkiler. II. Tıbbi Ve Aromatik Bitkiler Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Yalova, s. 108-117
- Khan IA, Smillie TJ, Craker LE (2005) Quality and Safety Issues Related to Botanicals. Z.E. Gardner (eds.), *Acta Hort.* 720.
- Kırıcı, Saliha (2015). "Türkiye'de Tıbbi Ve Aromatik Bitkilerin Genel Durumu", TÜRKTOB, *Türkiye Tohumcular Birliği Dergisi*, 4.15 (2015): 4-6.
- Kösa S, Güral, S. M. (2019). Tıbbi ve aromatik bitkiler ve peyzajda kullanımları. *Peyzaj*, 1(1), 41-54.
- Küçükberbaş, E.V.; Malkoç, E. (2000). Planlama ≠ Tasarım, IV. Peyzaj Mimarlığı Kongresi, Ankara, 529-537.
- Leszczynski, A. N. (1997). *Planting The Landscape A Professional Aproac to Garden Desing*. John Wiley and Sons. Inc, 205 p.
- Marshall, Elaine (2011). "Health And Wealth From Medicinal Aromatic Plants", FAO Diversification Booklet 17. Rural Infrastructure And Agro-Industries Division Food And Agriculture Organization Of The United Nations, Rome 2011. ISSN 1810-0775. Web Site: <http://www.fao.org/docrep/015/i2473e/i2473e00.pdf>
- Oğuz, D.; Çakıcı, I.; Sevimli G.; Özgür, Ş. (2010). Yaşlı bakım evlerinde dış mekân tasarımı, *Yaşlı Sorunları Arasturma Dergisi*. (1), 23-33.
- Oran (2015). Tıbbi ve Aromatik Bitkiler Sektör Raporu, Orta Anadolu Kalkınma Ajansı Kayseri
- Pouya, S., & DEMİR, S. (2017). Peyzaj Mimarlığında Tıbbi Ve Aromatik Bitkilerin Kullanımı. *Journal of International Social Research*, 10(54).
- Robinson, Nick (2016). *The Planting Design Handbook*, Routledge.
- Sağlık, A., & Kelkit, A. (2015). Çanakkale valiliği hükümet konağı peyzaj tasarım çalışması. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*, 31(2), 124-128.
- Sarı, D., & Karaşah, B. (2019). İç ve Dış Mekanlarda Kullanılabilecek Tıbbi-Aromatik Bazı Süs Bitkileri. In 4th International Symposium On.
- Seçkin, N. P.; Seçkin, Y. Ç.; Seçkin, Ö. B. (2011). Sürdürülebilir Peyzaj Tasarımı ve Uygulama İlkeleri, Literatür Yayınları, İstanbul.
- Serez, A. (2011). Tarihsel süreç içinde sağlık bahçeleri (Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Surat, H. (2020). Artvin'de Doğal Olarak Yetişen Bazı Tıbbi-Aromatik Ve Ekonomik Değere Sahip Odunsu Bitkilerin Peyzaj Mimarlığında Kullanım Alanlarının Değerlendirilmesi. *Journal of International Social Research*, 13(74).
- Temel, M., Tinmaz, A. B., Öztürk, M., & Gündüz, O. (2018). Dünyada ve Türkiye'de tıbbi-aromatik bitkilerin üretimi ve ticareti. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 21, 198-214.
- Ulrich, R. S. (2002). Health benefits of gardens in hospitals. In Paper for conference, Plants for People *International Exhibition Floriade* (Vol. 17, No. 5, p. 2010).
- Yılmaz, S. (2015). Bir Kampüs Açık Mekânın Çevresel Tasarımı: Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Binası. *Kastamonu University Journal of Forestry Faculty*, 15(2), 297-307.
- Yılmaz, H. (2019). Atatürk Üniversitesi Merkez Yerleşkesi açık-yeşil alan avlusu peyzaj tasarımı ve uygulama süreci. *Akademik Ziraat Dergisi*, 8(1), 127-134.
- Yılmaz, H., Irmak, M.A. (2012). Yerleşke Planlamasında Bitkisel Tasarım İlkeleri; Atatürk Üniversitesi Yerleşkesi Örneği, Atatürk Üniversitesi Yayınları No:1011, ISBN: 978-975-442-184-2
- Yoğunlu A (2011) "Fırat Kalkınma Ajansı, Tunceli Ekonomik Değeri Olan Bitkiler Raporu", Sektörel Araştırmalar Serisi-5, Fırat kalkınma Ajansı. 1-25.